



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta stavební  
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

# **MEMBRÁNOVÉ ZASTŘEŠENÍ KLUZIŠTĚ S PODPŮRNOU OCELOVOU KONSTRUKCÍ**

## **STEEL AND MEMBRANE ROOFING OF THE ICE RINK**

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Michal Netušil, Ph.D.

Andrea Vášková

---

Praha 2019




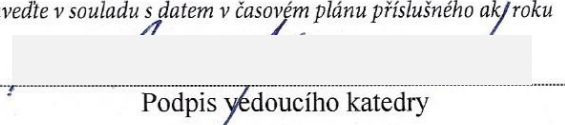


## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vášková Jméno: Andrea Osobní číslo: 410594  
Zadávající katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI


Název diplomové práce: Membránové zastřešení kluziště s podpůrnou ocelovou konstrukcí  
Název diplomové práce anglicky: Steel and membrane roofing of the ice rink  
Pokyny pro vypracování:  
Návrh tvaru konstrukce a jeho optimalizace pro statickou analýzu. Návrh konstrukčního řešení. Tvorba numerického výpočetního modelu. Statický výpočet a posouzení membrány a podpůrné ocelové konstrukce zastřešení. Návrh hlavních detailů konstrukce a nosného systému membrány.  
Seznam doporučené literatury:  
Skriptá ČVUT - Ocelové konstrukce, Normové podklady řady ČSN EN 1993, 1990, 1991  
Michael Seidel: Tensile Surface Structures, Kopřiva a kol.: Membránová architektura  
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michal Netušil, Ph.D.  
Datum zadání diplomové práce: 18.2.2019 Termín odevzdání diplomové práce: 20.5.2019  
*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak/roku*  
 Podpis vedoucího práce  Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

18.2.2019

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)



# SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Andrea Vášková

Název diplomové práce: Membránové zastřešení kluziště s podpůrnou ocelovou konstrukcí

Základní část: Ocelové konstrukce ..... podíl: 100 %

Formulace úkolů: Návrh tvaru konstrukce a jeho optimalizace pro statickou analýzu. Návrh konstrukčního řešení. Tvorba numerického výpočetního modelu. Statický výpočet a posouzení membrány a podpůrné ocelové konstrukce zastřešení. Návrh hlavních detailů konstrukce a nosného systému membrány.

Podpis vedoucího DP: 

Datum: 18.2.2019

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

3. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

4. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

## Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1.stranou zadání již ve 2.týdnu semestru)



## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně na základě konzultací s vedoucím diplomové práce Ing. Michalem Netušilem, Ph.D. a s použitím uvedené literatury.

V Praze dne 19. 05. 2019 .....

Andrea Vášková

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala Michalu Netušilovi za odborné vedení, cenné rady a odpovědi na všechny mé otázky, pozitivní přístup, podporu a čas, který mi věnoval během celé tvorby diplomové práce.

Své rodině a přátelům děkuji za jejich podporu a ochotu během celého studia. Jejich podpora byla často mnohem důležitější než cokoliv jiného.





## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá statickým a konstrukčním návrhem membránového zastřešení s podpůrnou ocelovou konstrukcí nad plochou kluziště. Návrh velkorožponového zastřešení je řešen dvěma hlavními membránami a jednou doplňkovou, která tvoří tzv. hřbet konstrukce. Páteř konstrukce tvoří prostorový příhradový ocelový oblouk s rozpětím v patách 59,9 m a vzepětím 13,4 m, na který je kotvena předepnutá membránová konstrukce. Konstrukce je symetrická dle obou os. Dolní cípy membrány jsou kotveny do pěti trojnožek a do objektu zázemí kluziště. Trojnožky jsou tvořeny ocelovým sloupem a dvojicí kotevních lan. Ocelová konstrukce je se spodní stavbou spojena čepovými spoji. Byl proveden návrh všech nosných prvků konstrukce a následně byly navrženy vybrané detaily včetně spojení membrány s ocelovou konstrukcí. Součástí předložené práce je rovněž výkresová dokumentace a technická zpráva.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Membránové zastřešení; Interakce membrány s ocelovou konstrukcí; Prostorová příhradová konstrukce; Kotevní lana; Ocelové sloupy; Rohové kování; Stabilita oblouku

## ABSTRACT

The topic of the master thesis is a design of a steel and membrane roofing of the ice rink. It includes structural analysis of the structure as well as the structural drawings. The design of the large span structure consists of two main membranes and one complementary membrane which creates a ridge of the structure. The main structure is designed as a spatial truss steel arch with the 59,9 m span and the 13,4 m rise. The prestressed membrane structure is anchored to this truss. The structure is symmetrical to both axes. Five lower points of membranes are anchored to the concrete building. Another five points of membranes are anchored to the structure which is combined of one steel column and two anchoring cables. The steel structure is connected to the concrete foundations by pin joints. The structural design of all supporting elements and the bracing system was performed. Afterwards, the design of the details was done, including the connection of the membrane and steel structure. At the end, the drawing documentation and the technical report were prepared.

## KEYWORDS

Membrane roofing; Interaction of the membrane with the steel structure; Spatial truss structure; Anchoring cable; Steel columns; Corner plate; Arch stability





ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta stavební  
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

# MEMBRÁNOVÉ ZASTŘEŠENÍ KLUZIŠTĚ S PODPŮRNOU OCELOVOU KONSTRUKCÍ

## **A TECHNICKÁ ZPRÁVA**

Andrea Vášková

---

Praha 2019



## OBSAH

1	ÚVOD, IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE, PODKLADY .....	3
1.1	Identifikační údaje .....	3
1.2	Účel dokumentace .....	3
1.3	Podklady pro zpracování projektu .....	3
2	POPIS KONSTRUKCE.....	3
2.1	Funkce a tvar objektu.....	3
2.2	Konstrukční systém.....	5
2.2.1	Vazník.....	5
2.2.2	Ostatní ocelové nosné konstrukce .....	6
2.2.3	Ostatní nosné konstrukce .....	7
2.2.4	Základové konstrukce .....	7
3	ZATÍŽENÍ A VÝPOČET.....	7
4	MATERIÁL .....	8
5	LITERATURA.....	8
5.1	Normy .....	8
5.2	Publikace .....	9
5.3	Ostatní literatura.....	10
6	SOFTWARE .....	10
7	VÝROBA, MONTÁŽ .....	10
7.1	Výroba .....	10
7.2	Montáž.....	11
8	ANTI-KOROZNÍ A POŽÁRNÍ OCHRANA.....	11
9	BEZPEČNOST PRÁCE, OCHRANA ZDRAVÍ .....	11
10	ZÁVĚR.....	11





# 1 ÚVOD, IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE, PODKLADY

## 1.1 Identifikační údaje

Stavba:	Membránové zastřešení kluziště s podpůrnou ocelovou konstrukcí
Místo stavby:	Brno
Projektant:	Andrea Vášková

## 1.2 Účel dokumentace

Projekt řeší membránové zastřešení objektu pro zakrytí venkovního kluziště včetně nosné ocelové konstrukce páteřního příhradového oblouku a nosných sloupů.

## 1.3 Podklady pro zpracování projektu

- Příslušné platné normy pro navrhování
- Katastr nemovitostí
- IG průzkum
- Geologická mapa
- Studie areálu kluziště

# 2 POPIS KONSTRUKCE

## 2.1 Funkce a tvar objektu

Navrhovaný objekt bude sloužit jako zastřešení venkovního kluziště před nepříznivými vlivy počasí v areálu Riviera Brno pro širokou veřejnost. Součástí návrhu je koncepční uvažování objektu pro zázemí kluziště a občerstvení, ale tento objekt není součástí projektu.

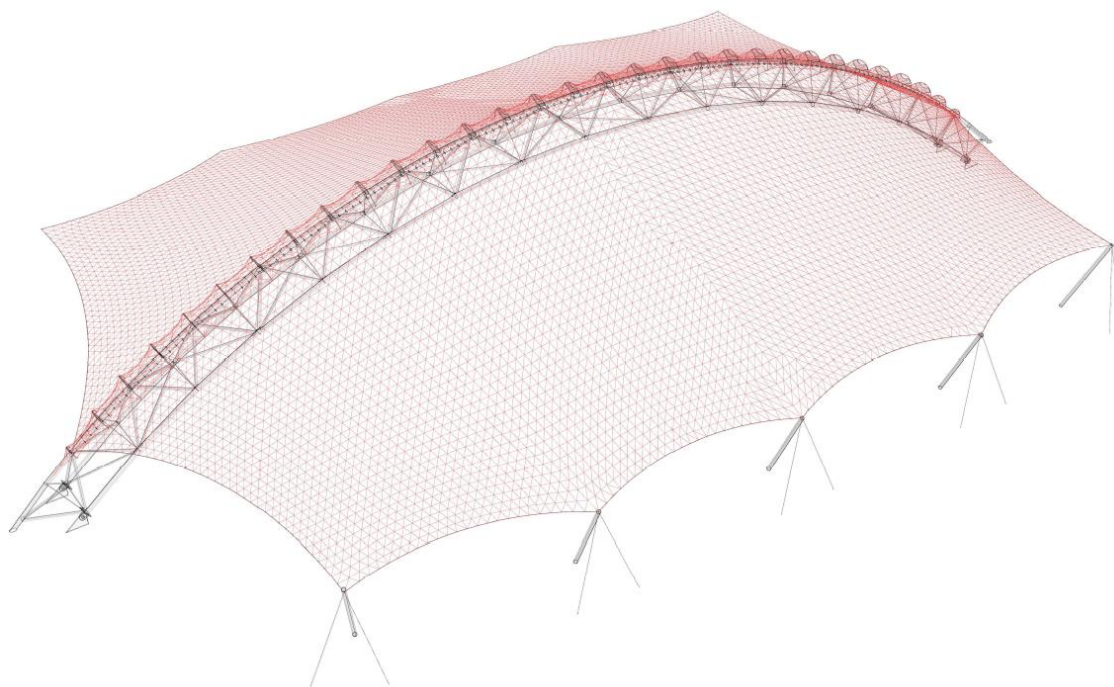
Předmětem projektu je membránové zastřešení a jeho podpůrná ocelová konstrukce, tj. obloukový trojboký příhradový vazník z oceli, který tvoří páteřní podporu pro membránové zastřešení a sloupy s kotevními lany. Geometrie konstrukce vychází z návrhu v rámci studie stavby.

Membránové zastřešení má celkovou plochu 2 170 m<sup>2</sup> a průměrný sklon 25°.

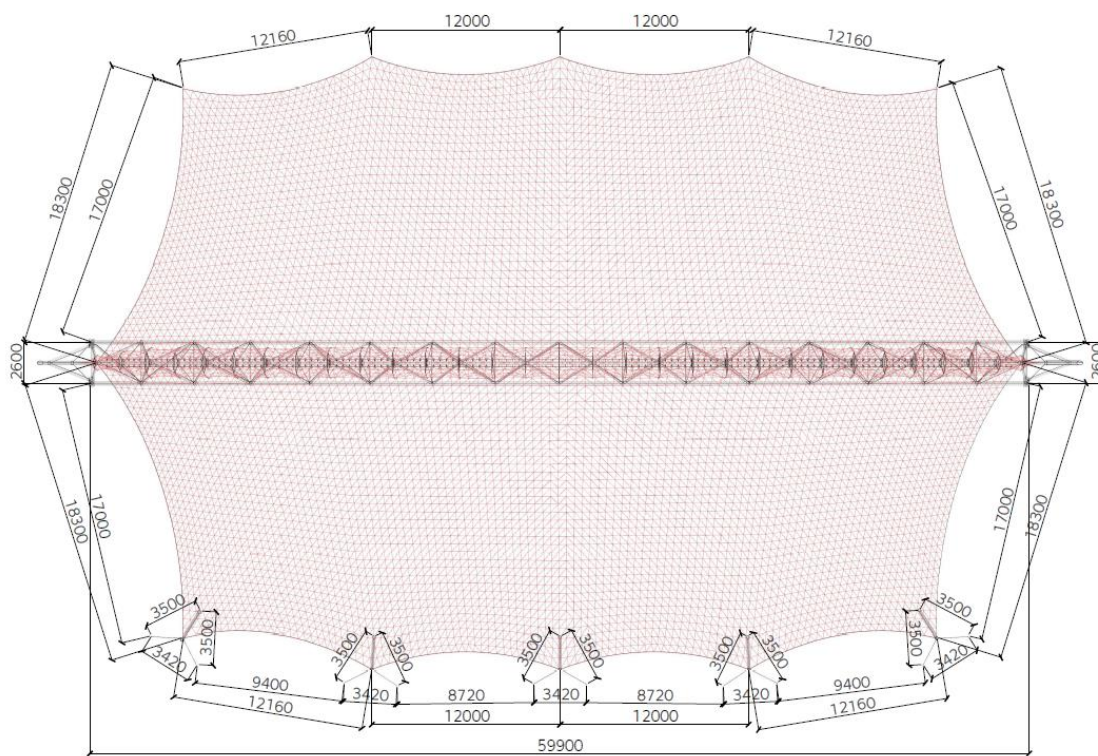
Zastřešení je příčně i podélně symetrické, pouze s rozdílným způsobem ukotvení membrány v jednotlivých bodech. Na jedné straně je kotvení tvořeno pěti tzv. trojnožkami, na druhé straně je membrána na pěti místech kotvena do objektu zázemí kluziště. Toto kotvení není součástí projektu.

Zastřešení sestává ze dvou hlavních membrán a jedné doplňkové membrány. Hlavní membrány jsou vypnuty mezi hlavní oblouk a trojnožky, resp. kotvy na objektu. Doplňkové části tvoří tzv. hřbet konstrukce a jejich hlavním

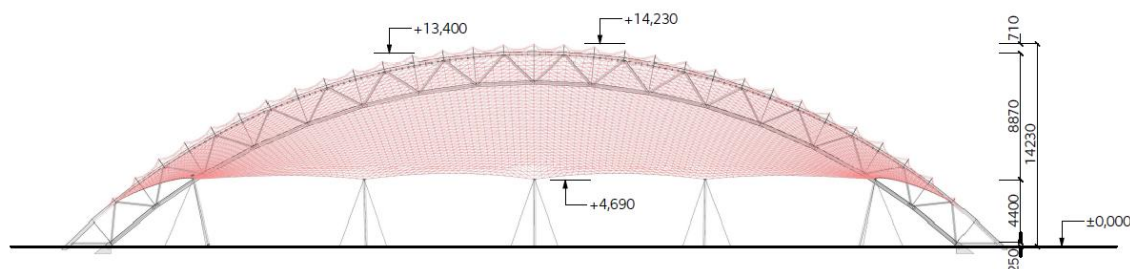
cílem je zastřešit mezeru mezi dvěmi hlavními membránami, aby uprostřed konstrukce nevznikala možnost padání dešťových kapek. Tato membrána je vypnuta mezi oblouky, které jsou ukotveny pomocí plechů na hlavní horní pás obloukového vazníku.



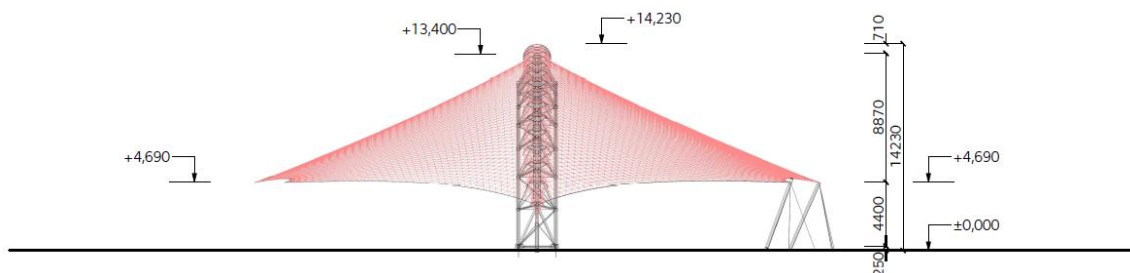
Obr. 1 Geometrie – perspektiva



Obr. 2 Geometrie – pohled shora



Obr. 3 Pohled čelní



Obr. 4 Pohled boční

## 2.2 Konstrukční systém

### 2.2.1 Vazník

Rozpětí vazníku je 59,9 m, vzepětí 13,4 m. V příčném řezu je vazník široký 2,6 m a výšky 2,0 m. Nejvyšší vrchol membránového zastřešení je ve výšce 14,23 m, kotvení je ve výšce 0,25 m. Konstrukce oblouku je symetrická podle své podélné i příčné osy. Tvar oblouku je tvořen lomenými segmenty o délce 4 070 mm ve spodní části oblouku. V horní části jsou tyto segmenty 2 125 mm. Styčníky byly navrženy v průsečících jednotlivých os prvků. Vazník byl rozdělen na 3 montážní kusy o maximální délce 24 m pro převoz z výroby na místo stavby.

Vazník je svařovaný z trubek. Horní pás vazníku je tvořen jednou trubkou proměnného průřezu TR 273x7 a TR 273x16, spodní pás dvěma trubkami proměnného průřezu TR 273x7 a TR 273x16. Trubky pásů musí být ze za tepla válcovaných profilů dle EN 10210. Jednotlivé díly pásů jsou navzájem spojeny přes čelní desky P15 umístěné ve vrcholech lomené čáry, ke kterým jsou přivařeny tupými svary. Všechny tři stěny vazníku jsou doplněny výplňovými diagonálami a svislicemi TR 48,3x5, TR 57x3,5, TR 168,3x4, TR 168,3x6,3, TR 139,7x5 ze svařovaných profilů dle EN 10219 a TR 140x16 ze za tepla válcovaných profilů dle EN 10210.

Na horním pasu vazníku je zhotovena příprava pro uchycení membrány v podobě uší z plechu P8. Tuto přípravu tvoří trubky z nerezové oceli třídy 1.4401 TR 48.3x4, které jsou provlečeny přes silonové podložky uložené v kotevních uších podél obou stran pásu, zrcadlově přes podélnou osu. Tyto trubky jsou zkružené tak, aby jejich tvar odpovídal tvaru membrány. K pasu jsou přichyceny plechy P8 ve styčnicích vazníku kolmými na osu pásu a stejně tak čtyřmi plechy v každém segmentu mezi styčníky.

Seshora na horním pasu jsou navařeny plechy P15 ve styčnicích, které slouží k uchycení oblouku pro překrytí vrcholu membránou, tzv. hřbet.

Prostorový příhradový vazník je kotvený na 4 čepových spojích ve spodních pasech pomocí čepů Ø 150 mm ve výškové úrovni +0,250 m. Kotevní detail je navržený s čelní deskou P30 obdélníkového tvaru, ke které jsou přivařeny všechny připojované trubky. K čelní desce jsou přivařeny 2 plechy P25, které tvoří styčnickové plechy čepu. Protikusy jsou plechy P50 montážně přivařené k zabetonovaným deskám v železobetonových patkách v úrovni -0,300 m, výztuhy budou montážně přivařeny.

Ztrátě stability vazníku z roviny je bráněno díky vzájemné interakci s předepnutou membránovou konstrukcí, což dokazuje i první vlastní tvar, kdy vybočuje sloup ve své vlastní rovině, což není pro globální analýzu podstatný tvar. Vlastní tvar, který vykazuje vybočení prvního prvku vazníku, ukazuje, že vazník vybočí dříve ve svislém směru než ve vodorovném.

Závěrem této stabilitní analýzy je, že pruty příhradové konstrukce lze posuzovat jako jednotlivé prvky se svými vzpěrnými délkami. Rozhodující pro tlačené prvky jsou jejich jednotlivé lokální vybočení. Globální tvar nemá pro návrh celého vazníku rozhodující význam.

## 2.2.2 Ostatní ocelové nosné konstrukce

Dalšími nosnými a ztužujícími prvky je pětice tzv. trojnožek tvořených z trubek TR 219,1x12 za studena tvarovaných z oceli S355J0 a dvojicí nerezových lan od firmy Fatzer průměru 24, 26, 36, 40 a 45 mm. Koncovky všech kotevních lan jsou na jedné straně vidlice s vnějším závitem, na druhé straně vidlice s vnějším závitem a napínákem. Sloupy jsou spojeny s kotevním plechem pomocí čepového spoje. Čepy se u jednotlivých sloupů liší a jsou průměru 100, 85 a 75 mm z oceli S355J0 a trojicí uší tl. 25 a 15 mm z oceli S355J0. Kotevní uši pro lana budou minimálně z plechu P20 z oceli S355J0 doplněné z obou stran o přivařené vymežovací podložky pro čepový spoj tl. 30, 20 a 15 mm dle velikosti lana a kotevní uši sloupů jsou přivařeny pomocí koutových svarů  $a=6$  mm k patním deskám o rozměrech 600x400mm a 1500x350mm z oceli S355J0 zabetonovaných a řádně zakotvených v základových konstrukcích.

Povrchová úprava všech ocelových konstrukcí se skládá z nátěrového systému určeného do prostředí se středním stupněm korozní agresivity C3 se životností více než 25 let. Povrch musí být velmi důkladně otryskán dle ISO 8501-1 (Stupeň Sa 2 ½). Minimální tloušťka vrstev je 200 µm. Odstín nátěru je určen architektem. Nátěr je proveden po provedení montážních svarů kotev ke kotevním plechům.

Nerezové prvky v kontaktu se samotnou membránou jsou provedeny v povrchové úpravě nerezové oceli balotina pro vytvoření matného a lehce strukturovaného povrchu.

### 2.2.3 Ostatní nosné konstrukce

Konstrukce membrány je navržena z vysokopevnostní textílie min. pevnost 800/700 daN/5 cm ve směru osnova a útku a vyšší, např. Serge Ferrari Flexlight Advanced Précontraint 1302 S2. Konstrukce je předepnuta 2,5 kN/m ve směru osnova a 1,5 kN/m ve směru útku pro zmenšení průhybů. Membrána je svařená 60 mm širokými svary pomocí vysoké frekvence. Obvodová lana jsou zasunuta v tzv. okovaném tunelu membrány, takže obvodová lana jsou držena pomocí nerezových příponek a k membráně budou sešroubovány přes keдр lištu ze dvou nerezových plechů P6 1.4401 pomocí šroubů M12 A4-70. Lana jsou na obou koncích opatřena koncovkami s vnějším závitem, které slouží pro dopínání membrány. Lana jsou navržena od firmy Fatzer z nerezové oceli 1.4401.

Obvodová lana jsou spojena přes trubičky TR 85x6,3, popřípadě dle vnějšího průměru terminálu dodavatele obvodových lan z nerezové oceli 1.4401 navařená minimálně 200 mm dlouhým svarem na rohové kování z nerezové oceli 1.4401 tl. 15 mm. Rohové kování je pomocí vidliček s vnějším závitem spojeno s uchem z plechu P20 a přílozek 2 x 20 mm, které je navařeno na sloup.

V hřebeni jsou membrány připojeny na ocelový vazník pomocí nerezových příponek, které jsou zachyceny na pomocnou trubku navařenou na horní pás vazníku a k membráně jsou sešroubovány přes keдр lištu ze dvou nerezových plechů P6 mm 1.4401 pomocí šroubů M12 A4-70.

Doplňková ocelová konstrukce tzv. hřbetu je tvořena plechem P15 navařeným na horní pás hlavního vazníku a oblouky TR 48,3x5. Oblouky jsou stabilizovány membránami, které jsou mezi nimi vypínány. Krajiní pole je ztuženo taktéž membránou, která je kotvena na horní pás vazníku. Celá tato část tvoří zakrytí detailu ukotvení membrány k vazníku, a tím vzniklé mezery, kterou by mohlo na kluzišťe přšet.

### 2.2.4 Základové konstrukce

V návrhu je uvažováno se založením na betonové kvádry v rozsahu trojnožek a v patách oblouku. Tyto betonové bloky jsou kotveny pomocí mikropilot do únosnějších zemin. Mikropiloty jsou nakloněny v směrech dominantních sil plynoucích z horní stavby. Základové konstrukce jsou o celkovém objemu betonu 62,65 m<sup>3</sup>. Základy budou vybetonovány z betonu C 20/25. Základové konstrukce jsou umístěny minimálně 300 mm pod úroveň čisté podlahy, nebo upraveným okolním terénem.

## 3 ZATÍŽENÍ A VÝPOČET

Statický výpočet a posouzení konstrukce je provedeno na jednom prostorovém modelu celé ocelové a membránové konstrukce, aby byla zahrnuta interakce membránové a ocelové konstrukce. Je ověřena únosnost všech prvků ocelové konstrukce. Zatížení je uvažováno v souladu s ČSN EN 1991, podrobně je uvedeno ve statickém výpočtu.

Konstrukce je navržena dle platných EN, viz. oddíl 5.

## 4 MATERIÁL

Prvky nosné konstrukce a čepy jsou navrženy z oceli S355J0. Trubky pasů jsou dle výrobní normy EN 10210, výplňové trubky, sloupy a oblouky hřbetu dle EN 10219 a EN 10210.

Povrchová úprava všech ocelových konstrukcí se skládá z nátěrového systému určeného do prostředí se středním stupněm korozní agresivity C3 se životností více než 25 let. Povrch musí být velmi důkladně otryskán dle ISO 8501-1 (Stupeň Sa 2 ½). Minimální tloušťka vrstev je 200 µm. Odstín nátěru je určen architektem. Nátěr je proveden po provedení montážních svarů kotev ke kotevním plechům.

Pro šroubové spoje ocelové konstrukce uvažují pevnostní třídu spojovacího materiálu 8.8. Pro šroubové spoje nerezových konstrukcí je uvažována třída A4-70.

Střešní membrána je navržena Serge Ferrari Flexlight Advanced Précontraint 1302 S2. Minimální pevnost 800/700 daN/5 cm ve směru osnovy a útku a vyšší z materiálu PES se zátěrem PVC a zalakováním PVDF, barva bílá, nebo dle specifikace.

Ocelová lana jsou navržena jako spirálová nerezová (DIN 1.4401) od firmy Fatzer. Jednotlivé průměry jsou uvedeny v posudcích lan. Lana jsou použita pro kotevní i pro obvodová lana.

Nosné betonové konstrukce – základy jsou navrženy z C20/25 – XF2 (CZ) – CI 0,2 - Dmax 16 mm – S3.

Betonářská výztuž je B505B, minimální krytí v obou směrech je 50 mm.

Dimenze nosných profilů jsou zřejmé z výkresové dokumentace a ze statického výpočtu.

## 5 LITERATURA

### 5.1 Normy

ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004.

ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1-1: Obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.

ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1-4: Obecná zatížení – zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

ČSN EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

ČSN EN 1998-5. *Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 5: Základy, opěrné a zárubní zdi a geotechnická hlediska*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

ČSN EN 10088-1 (420927). *Korozivzdorné oceli – Část 1-5*. Praha: Český normalizační institut, 2015.

ČSN EN 1090-2 (732601). *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce*. Praha: Český normalizační institut, 2019.

ČSN EN ISO 12944-1 (038241). *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 1: Obecné zásady*. Praha: Český normalizační institut, 2018.

## 5.2 Publikace

ELIÁŠOVÁ, Martina a Zdeněk SOKOL. *Ocelové konstrukce 1. Příklady*. 3. vyd. V Praze : České vysoké učení technické, 2013. ISBN 9788001052143.

FORSTER, Brian a Marijke MOLLAERT. *European design guide for tensile surface structures*. Bruselas : Tensinet, 2004. ISBN 9789080868717.

KOPŘIVA, Miloš, Michal NETUŠIL, Henri ACHTEN a Zdeněk HIRNŠAL. *Membránová architektura*. 1. vydání. V Praze : České vysoké učení technické, 2015. ISBN 8001056937.

SEIDEL, Michael. *Tensile structures for building envelopes. Construction of flexible structural systems : materials, design, assembly*. Weinheim, Chichester : Wiley-VCH; John Wiley [distributor], 2009. ISBN 978-3-433-02922-0.

SOKOL, Zdeněk a František WALD. *Ocelové konstrukce. Tabulky*. 3. vydání. V Praze : České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06032-2.

STUDNIČKA, Jiří. *Navrhování nosných konstrukcí*. 1. vyd. V Praze : České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05490-1.

STUDNIČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce. Normy*. 2. vyd. V Praze : České vysoké učení technické, 2014. ISBN 9788001054895.

STUDNIČKA, Jiří, Milan HOLICKÝ a Jana MARKOVÁ. *Ocelové konstrukce 2*. 2. vydání. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 9788001058152.

VRANÝ, Tomáš, Michal JANDERA a Martina ELIÁŠOVÁ. *Ocelové konstrukce 2. Cvičení*. Vyd. 2., přeprac. V Praze : České vysoké učení technické, 2009. ISBN 9788001043684.

### 5.3 Ostatní literatura

*FATZER-Seilbau-Structural-Ropes-Brochure-metrisch-DE-EN.pdf* [online]. FATZER BRUGG ®. [vid. 13. 4. 2019]. Dostupné z: <http://www.fatzer.com/wp-content/uploads/2018/02/FATZER-Seilbau-Structural-Ropes-Brochure-metrisch-DE-EN.pdf>

*Translucent roofs. Flexlight Advanced 1302 S2* [online]. Serge Ferrari. [vid. 13. 4. 2019]. Dostupné z: <https://www.sergeferrari.com/products/flexlight-range/flexlight-advanced-1302-s2>

WILKINSON T., STOCK D., HASTIE A.; Eccentric cleat plate connections in hollow section members in compression; In: *Tubular Structures XIII – Proceedings of the 13th International Symposium on Tubular Structures*; 2010, pp. 197 - 203; Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/289774362\\_Eccentric\\_cleat\\_plate\\_connections\\_in\\_hollow\\_section\\_members\\_in\\_compression](https://www.researchgate.net/publication/289774362_Eccentric_cleat_plate_connections_in_hollow_section_members_in_compression)

*Oblasti zatížení sněhem, větrem a zemetřesením* [online]. Dlubal Software s.r.o., 2019. [vid. 15.5.2019]. Dostupné z: <https://www.dlubal.com/cs/reseni/online-sluzby/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim>

## 6 SOFTWARE

- © Microsoft Office 365
- © Rhinoceros 5.12.50810.13095
- © Dlubal RFEM 5.10.132654
- © Fine spol. s.r.o. - GEO5-Mikropilota 2018.17
- © AutoCAD 2016

## 7 VÝROBA, MONTÁŽ

### 7.1 Výroba

Konstrukce je zařazena do třídy provedení dle ČSN EN 1090-2: Technické požadavky pro ocelové konstrukce. Třída provedení je stejná pro celou konstrukci. Stanovení třídy následků je CC3, kategorie použitelnosti SC1 a kategorie provádění PC2. Určená výsledná třída provedení je EXC3.

Konstrukce oblouku je dílensky svařovaná, rozdělená na montážní díly. Montážní díly jsou vzájemně montážně svařované.

Požadavky na provádění viz. Příloha A výše zmíněné normy.



## 7.2 Montáž

Po vybetonování základových patek, kde budou zabetonované potřebné patní plechy v požadovaných polohách, budou přivařeny kotevní plechy pro čepové spoje a jejich výztuhy. Dále proběhne začepování spodních montážních dílů příhradové konstrukce, následně budou montážně podepřeny a poslední montážní díl bude osazen k již montážně podepřenou částí vazníku. Poté proběhne montážní podepření a následně finální svaření.

V další fázi jsou na čepové spoje upevněny sloupy a zakotveny kotevními lany. V poslední fázi je montována membránová střecha s obvodovými lany a rohovými kováními.

Po dokončení realizace je provedena výchozí prohlídka konstrukce podle ČSN 732604.

## 8 ANTIKOROZNÍ A POŽÁRNÍ OCHRANA

Pro konstrukci není stanoven žádný stupeň požární odolnosti.

Povrchová úprava všech ocelových konstrukcí se skládá z nátěrového systému určeného do prostředí se středním stupněm korozní agresivity C3 se životností více než 25 let. Povrch musí být velmi důkladně otryskán dle ISO 8501-1 (Stupeň Sa 2 ½). Odstín nátěru je určen architektem. Nátěr je proveden po provedení montážních svarů kotev ke kotevním plechům.

Jako vhodný nátěr je stanoven třívrstvý nátěr od firmy Hempel v celkové tloušťce 200 µm:

SB Zinkepoxidový	Hempadur Avantguard 550	40 µm
SB Epoxidový	Hempoprime Multi 500	100 µm
SB Polyuretanový	Hempothane HS 55610	60 µm

## 9 BEZPEČNOST PRÁCE, OCHRANA ZDRAVÍ

Pro plán BOZP dodavatele stavby bude vypracována analýza možných rizik při montáži membránové a ocelové konstrukce, aby zajistila bezpečnost práce, montážních postupů a přístupových cest. Veškeré práce musí být v souladu s platných ČSN a předpisů o bezpečnosti a ochraně zdraví, zejména zákoníku práce – 262/2006 Sb. a zákona 309/2006 Sb. a vyhlášky č. 48/1982 Sb.

Všechny části stavby jsou navrženy v souladu s předpisy platnými v České republice ke dni zpracování dokumentace.

## 10 ZÁVĚR

Ocelová konstrukce s membránou je posouzena dle platných evropských norem řady ČSN EN a v tomto ohledu meznímu stavu únosnosti a použitelnosti vyhovuje.

Konstrukce musí být za provozu řádně udržována. Celkový stav konstrukce bude zjišťován pravidelně se opakujícími prohlídkami prováděnými odborně způsobilou osobou.

Ve statickém výpočtu jsou uvedeny hlavní prvky nosné konstrukce stavby. Další případné potřebné síly a výstupy jednotlivých prvků jsou k dispozici u zpracovatele statického posudku. Předmětem tohoto výpočtu nejsou navazující konstrukce. Nedílnou součástí této technické zprávy je statický výpočet a výkresy.

Veškeré konstrukce musí splňovat platné české zákony, normy, hygienické předpisy a nařízení. Při všech pracích se musí dodržovat bezpečnostní a požární předpisy, technologické postupy, ustanovení příslušných norem.

Pokud jsou v této dokumentaci uvedeny konkrétní typy výrobků, jedná se pouze o příklady sloužící pro specifikaci vlastností – technických a uživatelských standardů. Zhotovitel dokumentace výslovně uvádí, že tyto výrobky lze nahradit jinými výrobky stejných technických vlastností – standardů a shodné, nebo vyšší kvality a provedení. Stejným způsobem jsou v dokumentaci jako příklad informativně uvedeni i možní v úvahu přicházejí výrobci, nebo dodavatelé.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta stavební  
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

# MEMBRÁNOVÉ ZASTŘEŠENÍ KLUZIŠTĚ S PODPŮRNOU OCELOVOU KONSTRUKCÍ

## **B STATICKÝ VÝPOČET**

Andrea Vášková

---

Praha 2019



# OBSAH

1	ÚVOD.....	3
1.1	Informace o objektu.....	3
1.2	Dispozice objektu .....	6
2	MATERIÁLY.....	7
2.1	Ocel.....	7
2.1.1	Nosná ocelová konstrukce .....	7
2.1.2	Nerezová ocel .....	7
2.1.3	Ocelová lana.....	7
2.1.4	Spojovací prvky jednotlivých dílů.....	8
2.1.5	Povrchová úprava ocelových konstrukcí.....	8
2.2	Beton.....	8
2.2.1	Nosná betonová konstrukce – základy .....	8
2.3	Betonářská výztuž .....	9
2.4	Střešní membrána .....	9
3	ZATÍŽENÍ .....	10
3.1	Vlastní tíha .....	10
3.2	Předpětí.....	10
3.3	Zatížení sněhem.....	10
3.4	Zatížení větrem.....	11
3.4.1	Základní rychlost větru.....	12
3.4.2	Střední rychlost větru .....	12
3.4.3	Maximální dynamický tlak .....	13
3.4.4	Tlak větru na vnější povrchy.....	13
3.5	Další zatížení.....	14
3.5.1	Proměnné zatížení – údržba .....	14
3.5.2	Proměnné zatížení – námraza.....	14
3.5.3	Proměnné zatížení – lokální přetížení vazníku (reklama, ...). .....	15
4	NUMERICKÝ VÝPOČETNÍ MODEL.....	16
4.1	Popis modelu.....	16
4.2	Zatěžovací stavy .....	16
4.2.1	Přehled zatěžovacích stavů .....	16
4.2.2	Vizualizace zatěžovacích stavů .....	17
4.3	Kombinace zatěžovacích stavů.....	22
4.3.1	Přehled kombinací zatěžovacích stavů.....	22
4.4	Přehled kombinací výsledků.....	22
4.4.1	Vykreslení vnitřních sil na konstrukci – KV1, KV2.....	22
4.5	Stabilita .....	22
5	NÁVRH A POSOUZENÍ PRVKŮ KONSTRUKCE NA MSÚ.....	24
5.1	Návrh a posouzení lanových prvků na tah .....	24
5.1.1	Návrh a posouzení kotevních lan.....	25
5.1.2	Návrh a posouzení obvodových lan .....	27

5.2	Návrh a posouzení ocelových prvků na vzpěrnou únosnost .....	30
5.3	Návrh a posouzení sloupů .....	30
5.3.1.1	Návrh a posouzení sloupu S1 .....	31
5.3.2	Návrh a posouzení obloukového vazníku .....	32
5.3.2.1	Návrh a posouzení diagonál .....	34
5.3.2.2	Návrh a posouzení stojek .....	39
5.4	Návrh a posouzení ocelových prvků na kombinaci tlaku a ohybu .....	41
5.4.1	Návrh a posouzení hlavního horního pásu – střední část .....	44
5.4.2	Návrh a posouzení hlavního horního pásu – krajní části .....	47
5.4.3	Návrh a posouzení hlavních spodních pásů – krajní část .....	51
5.4.4	Návrh a posouzení hlavních spodních pásů – střední část .....	54
5.4.5	Posouzení oblouků hřbetu .....	58
5.4.6	Posouzení zkružené trubky nesoucí hlavní plachty .....	61
5.5	Návrh a posouzení membránového zastřešení .....	62
5.6	Návrh a posouzení detailů ocelové konstrukce .....	64
5.6.1	Návrh a posouzení kotvení sloupu S1 .....	64
5.6.1.1	Návrh a posouzení čepového spoje pro sloup S1 .....	64
5.6.1.2	Únosnost svaru k patnímu plechu .....	65
5.6.2	Návrh a posouzení kotvení sloupu S2 .....	66
5.6.2.1	Návrh a posouzení čepového spoje pro sloup S2 .....	66
5.6.2.2	Únosnost svaru k patnímu plechu .....	67
5.6.3	Návrh a posouzení kotvení sloupu S3 .....	68
5.6.3.1	Návrh a posouzení čepového spoje pro sloup S3 .....	68
5.6.3.2	Únosnost svaru k patnímu plechu .....	69
5.6.4	Posouzení kotevního plechu pro sloupy S1, S2, S3, S4, S5 .....	70
5.6.5	Návrh a posouzení patních plechů pro sloupy S1, S2, S3, S4, S5 .....	72
5.6.6	Návrh a posouzení kotvení oblouku .....	74
5.6.6.1	Návrh a posouzení čepového spoje pro oblouk .....	74
5.6.6.2	Posouzení kotevního plechu .....	76
5.6.6.3	Únosnost svaru k patnímu plechu .....	81
5.6.7	Návrh a posouzení patních plechů pro oblouk .....	82
5.6.8	Vidlice s vnějším závitem .....	83
5.6.9	Návrh a posouzení rohového kování .....	84
5.6.10	Návrh a posouzení smyku rohového kování .....	86
5.6.11	Posouzení porušení styčníku dutých průřezů .....	86
6	NÁVRH A POSOUZENÍ ZÁKLADOVÝCH KONSTRUKCÍ .....	89
6.1	Základy pod trojnožkami .....	89
6.1.1	Tlačená mikropilota (Sloup S1) .....	89
6.1.2	Tažená mikropilota (LK1) .....	93
6.2	Základy oblouku .....	96
7	POSOUZENÍ KONSTRUKCE NA MSP .....	97
7.1	Posouzení vazníku .....	97
7.1.1	Svislý průhyb .....	97
7.1.2	Vodorovný průhyb .....	97
7.2	Posouzení membrány .....	99
8	ZÁVĚR .....	102

# 1 ÚVOD

## 1.1 Informace o objektu

Navrhovaný objekt bude sloužit jako zastřešení venkovního kluziště před nepříznivými vlivy počasí v areálu Riviera Brno pro širokou veřejnost. Součástí návrhu je koncepční uvažování objektu pro zázemí kluziště a občerstvení, ale tento objekt není součástí projektu.

Předmětem projektu je membránové zastřešení a jeho podpurná ocelová konstrukce, tj. obloukový trojboký příhradový vazník z oceli, který tvoří páteřní podporu pro membránové zastřešení a sloupy s kotevními lany. Geometrie konstrukce vychází z návrhu v rámci studie stavby.

Membránové zastřešení má celkovou plochu 2 170 m<sup>2</sup> a průměrný sklon 25°.

Zastřešení je příčně i podélně symetrické, pouze s rozdílným způsobem ukotvení membrány v jednotlivých bodech. Na jedné straně je kotvení tvořeno pěti tzv. trojnožkami, na druhé straně je membrána na pěti místech kotvena do objektu zázemí kluziště. Toto kotvení není součástí projektu.

Zastřešení sestává ze dvou hlavních membrán a jedné doplňkové membrány. Hlavní membrány jsou vypnuty mezi hlavní oblouk a trojnožky, resp. kotvy na objektu. Doplňkové části tvoří tzv. hřbet konstrukce a jejich hlavním cílem je zastřešit mezeru mezi dvěma hlavními membránami, aby uprostřed konstrukce nevznikala možnost padání dešťových kapek. Tato membrána je vypnuta mezi oblouky, které jsou ukotveny pomocí plechů na hlavní horní pás obloukového vazníku.

Rozpětí vazníku je 59,9 m, vzepětí 13,4 m. V příčném řezu je vazník široký 2,6 m a výšky 2,0 m. Nejvyšší vrchol membránového zastřešení je ve výšce 14,23 m, kotvení je ve výšce 0,25 m. Konstrukce oblouku je symetrická podle své podélné i příčné osy. Tvar oblouku je tvořen lomenými segmenty o délce 4 070 mm ve spodní části oblouku. V horní části jsou tyto segmenty 2 125 mm. Styčníky byly navrženy v průsečících jednotlivých os prvků. Vazník byl rozdělen na 3 montážní kusy o maximální délce 24 m pro převoz z výroby na místo stavby.

Vazník je svařovaný z trubek. Horní pás vazníku je tvořen jednou trubkou proměnného průřezu TR 273x7 a TR 273x16, spodní pás dvěma trubkami proměnného průřezu TR 273x7 a TR 273x16. Trubky pasů musí být ze za tepla válcovaných profilů dle EN 10210. Jednotlivé díly pasů jsou navzájem spojeny přes čelní desky P15 umístěné ve vrcholech lomené čáry, ke kterým jsou přivařeny tupými svary. Všechny tři stěny vazníku jsou doplněny výplňovými diagonálami a svislicemi TR 48,3x5, TR 57x3,5, TR 168,3x4, TR 168,3x6,3, TR 139,7x5 ze svařovaných profilů dle EN 10219 a TR 140x16 ze za tepla válcovaných profilů dle EN 10210.

Na horním pasu vazníku je zhotovena příprava pro uchycení membrány v podobě uší z plechu P8. Tuto přípravu tvoří trubky z nerezové oceli třídy 1.4401 TR 48,3x4, které jsou provlečeny přes silonové podložky uložené v kotevních uších podél obou stran pasu, zrcadlově přes podélnou osu. Tyto trubky jsou zkružené tak, aby jejich tvar odpovídal tvaru membrány. K pasu jsou přichyceny plechy P8

ve styčnicích vazníku kolmými na osu pasu a stejně tak čtyřmi plechy v každém segmentu mezi styčníky.

Seshora na horním pasu jsou navařeny plechy P15 ve styčnicích, které slouží k uchycení oblouku pro překrytí vrcholu membránou, tzv. hřbet.

Prostorový příhradový vazník je kotvený na 4 čepových spojích ve spodních pasech pomocí čepů Ø 150 mm ve výškové úrovni +0,250 m. Kotevní detail je navržený s čelní deskou P30 obdélníkového tvaru, ke které jsou přivařeny všechny připojované trubky. K čelní desce jsou přivařeny 2 plechy P25, které tvoří styčnickové plechy čepu. Protikusy jsou plechy P50 montážně přivařené k zabetonovaným deskám v železobetonových patkách v úrovni -0,300 m, výztuhy budou montážně přivařeny.

Ztrátě stability vazníku z roviny je bráněno díky vzájemné interakci s předepnutou membránovou konstrukcí, což dokazuje i první vlastní tvar, kdy vybočuje sloup ve své vlastní rovině, což není pro globální analýzu podstatný tvar. Vlastní tvar, který vykazuje vybočení prvního prvku vazníku, ukazuje, že vazník vybočí dříve ve svislém směru než ve vodorovném.

Závěrem této stabilitní analýzy je, že pruty příhradové konstrukce lze posuzovat jako jednotlivé prvky se svými vzpěrnými délkami. Rozhodující pro tlačené prvky jsou jejich jednotlivé lokální vybočení. Globální tvar nemá pro návrh celého vazníku rozhodující význam.

Dalšími nosnými a ztužujícími prvky je pětice tzv. trojnožek tvořených z trubek TR 219,1x12 za studena tvarovaných z oceli S355J0 a dvojicí nerezových lan od firmy Fatzer průměru 24, 26, 36, 40 a 45 mm. Koncovky všech kotevních lan jsou na jedné straně vidlice s vnějším závitem, na druhé straně vidlice s vnějším závitem a napínákem. Sloupy jsou spojeny s kotevním plechem pomocí čepového spoje. Čepy se u jednotlivých sloupů liší a jsou průměru 100, 85 a 75 mm z oceli S355J0 a trojicí uší tl. 25 a 15 mm z oceli S355J0. Kotevní uši pro lana budou minimálně z plechu P20 z oceli S355J0 doplněné z obou stran o přivařené vymežovací podložky pro čepový spoj tl. 30, 20 a 15 mm dle velikosti lana a kotevní uši sloupů jsou přivařeny pomocí koutových svarů  $a=6$  mm k patním deskám o rozměrech 600x400mm a 1500x350mm z oceli S355J0 zabetonovaných a řádně zakotvených v základových konstrukcích.

Povrchová úprava všech ocelových konstrukcí se skládá z nátěrového systému určeného do prostředí se středním stupněm korozní agresivity C3 se životností více než 25 let. Povrch musí být velmi důkladně otryskán dle ISO 8501-1 (Stupeň Sa 2 ½). Minimální tloušťka vrstev je 200 µm. Odstín nátěru je určen architektem. Nátěr je proveden po provedení montážních svarů kotev ke kotevním plechům.

Nerezové prvky v kontaktu se samotnou membránou jsou provedeny v povrchové úpravě nerezové oceli balotina pro vytvoření matného a lehce strukturovaného povrchu.

Konstrukce membrány je navržena z vysokopevnostní textílie min. pevnost 800/700 daN/5 cm ve směru osnovy a útku a vyšší, např. Serge Ferrari Flexlight Advanced Précontraint 1302 S2. Konstrukce je předepnuta 2,5 kN/m ve směru osnovy a 1,5 kN/m ve směru útku pro zmenšení průhybů. Membrána je svařená



60 mm širokými svary pomocí vysoké frekvence. Obvodová lana jsou zasunuta v tzv. okovaném tunelu membrány, takže obvodová lana jsou držena pomocí nerezových příponek a k membráně budou sešroubovány přes keдр lištu ze dvou nerezových plechů P6 1.4401 pomocí šroubů M12 A4-70. Lana jsou na obou koncích opatřena koncovkami s vnějším závitem, které slouží pro dopínání membrány. Lana jsou navržena od firmy Fatzer z nerezové oceli 1.4401.

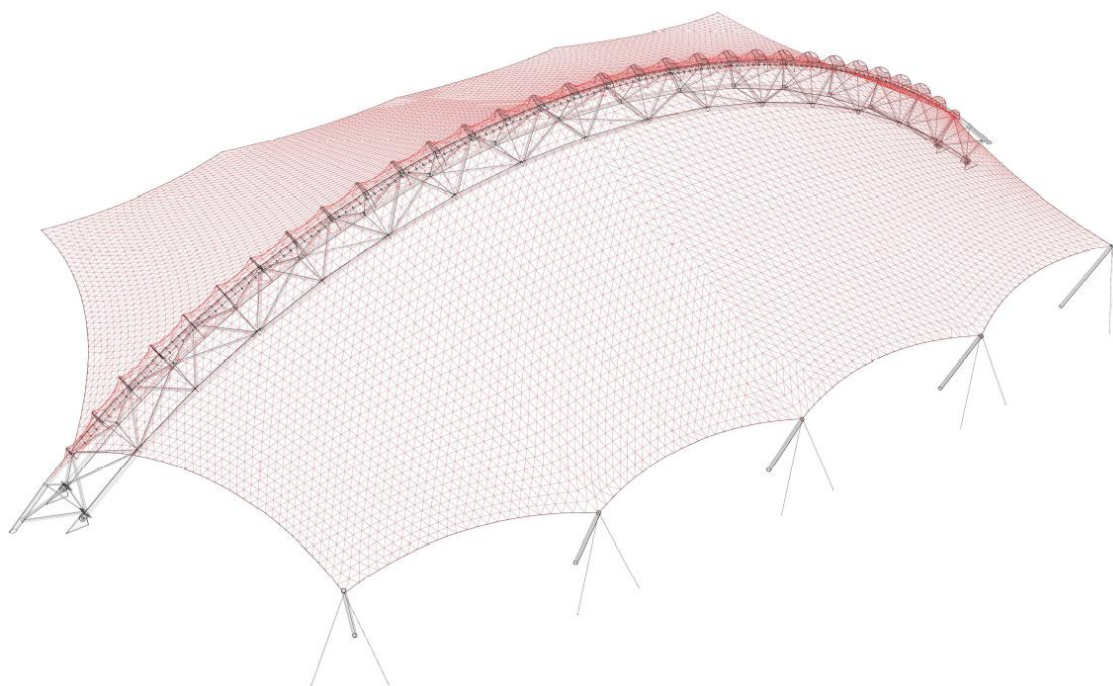
Obvodová lana jsou spojena přes trubičky TR 85x6,3, popřípadě dle vnějšího průměru terminálu dodavatele obvodových lan z nerezové oceli 1.4401 navařená minimálně 200 mm dlouhým svarem na rohové kování z nerezové oceli 1.4401 tl. 15 mm. Rohové kování je pomocí vidliček s vnějším závitem spojeno s uchem z plechu P20 a přílozek 2 x 20 mm, které je navařeno na sloup.

V hřebeni jsou membrány připojeny na ocelový vazník pomocí nerezových příponek, které jsou zachyceny na pomocnou trubku navařenou na horní pás vazníku a k membráně jsou sešroubovány přes keдр lištu ze dvou nerezových plechů P6 mm 1.4401 pomocí šroubů M12 A4-70.

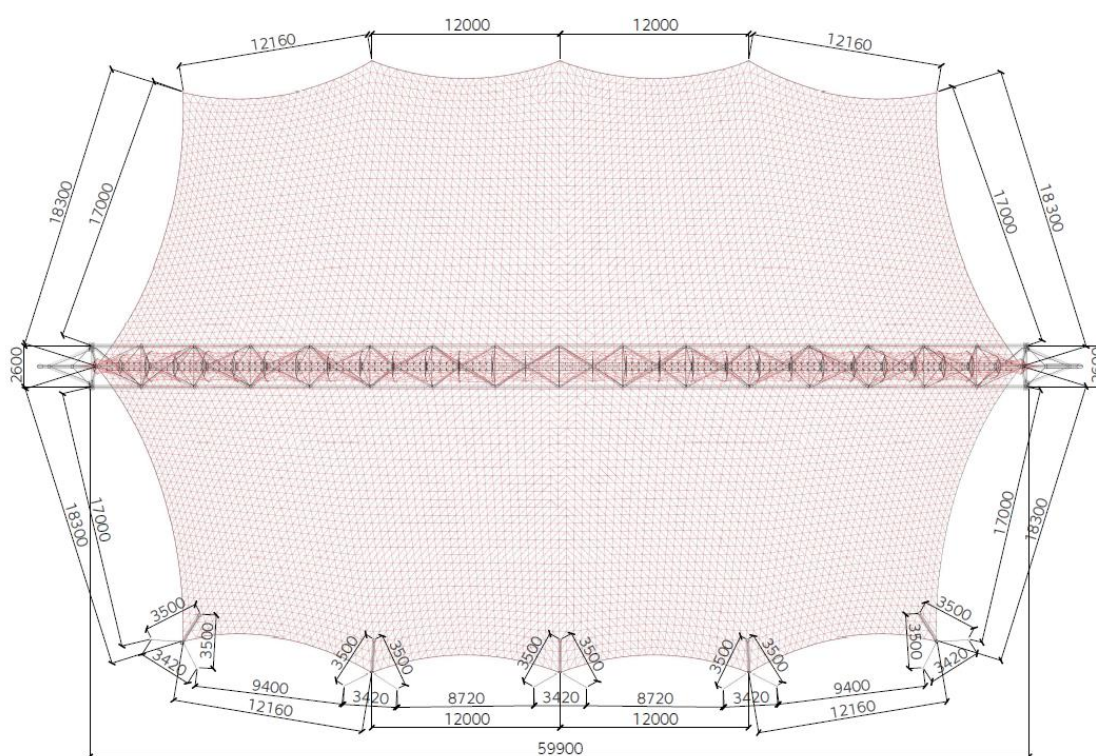
Doplňková ocelová konstrukce tzv. hřbetu je tvořena plechem P15 navařeným na horní pás hlavního vazníku a oblouky TR 48,3x5. Oblouky jsou stabilizovány membránami, které jsou mezi nimi vypínány. Krajiní pole je ztuženo taktéž membránou, která je kotvena na horní pás vazníku. Celá tato část tvoří zakrytí detailu ukotvení membrány k vazníku, a tím vzniklé mezery, kterou by mohlo na kluzišťe přšet.

V návrhu je uvažováno se založením na betonové kvádry v rozsahu trojnožek a v patách oblouku. Tyto betonové bloky jsou kotveny pomocí mikropilot do únosnějších zemin. Mikropiloty jsou nakloněny v směrech dominantních sil plynoucích z horní stavby. Základové konstrukce jsou o celkovém objemu betonu 62,65 m<sup>3</sup>. Základy budou vybetonovány z betonu C 20/25. Základové konstrukce jsou umístěny minimálně 300 mm pod úroveň čisté podlahy, nebo upraveným okolním terénem.

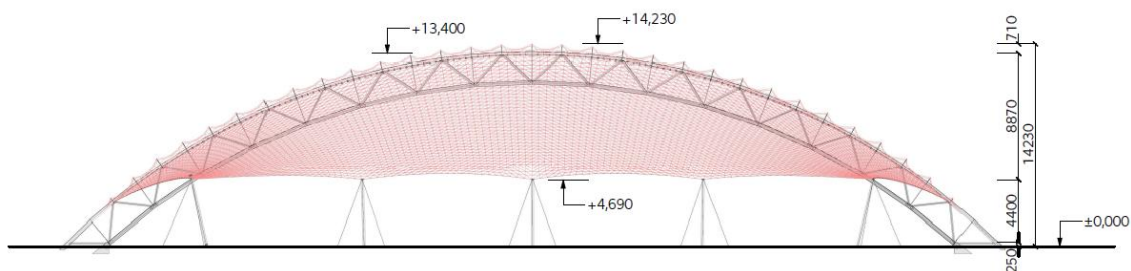
## 1.2 Dispozice objektu



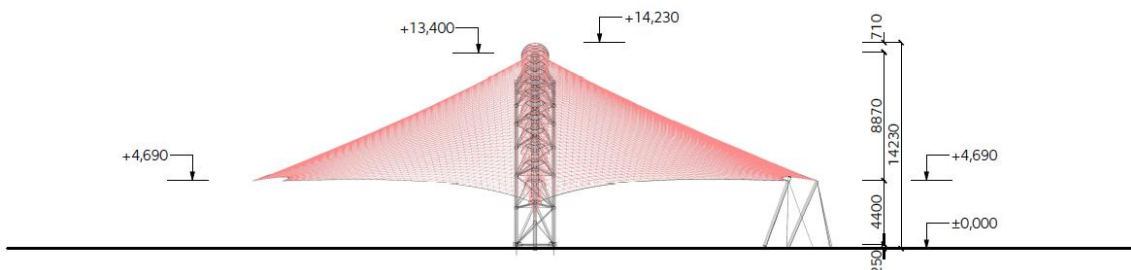
Obr. 1 Geometrie – perspektiva



Obr. 2 Geometrie – pohled shora



Obr. 3 Pohled čelní



Obr. 4 Pohled boční

## 2 MATERIÁLY

### 2.1 Ocel

#### 2.1.1 Nosná ocelová konstrukce

Nosná ocelová konstrukce je navržena z S355J0.

#### 2.1.2 Nerezová ocel

Všechny ocelové konstrukce, které jsou ve styku s membránou, musí být nerezové dle DIN 1.4401 (AISI 316) S235.

#### 2.1.3 Ocelová lana

Ocelová lana jsou navržena jako spirálová nerezová (DIN 1.4401) od firmy Fatzer. Jednotlivé průměry jsou uvedeny v posudcích lan. Lana jsou použita pro kotevní i pro obvodová lana. Materiálová specifikace viz. obrázek níže.

## SPIRAL STRAND ROPES (OSS)

### Material

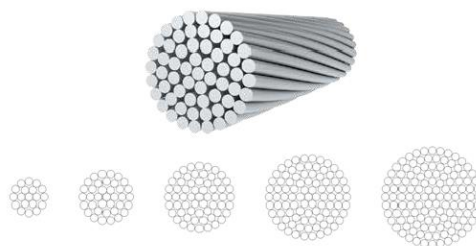
- High-tensile non alloy steel wire
- Or high-tensile stainless steel wire (Inox)

### Build-up

- Round wires
- Parallel wire core and one or more individual layers of wires
- All wires are arranged in a helical geometry
- Combination of left hand and right hand lay to minimise torque

### Corrosion Protection

- Zn95Al5 coated wires (e.g. galfan®)
- Or stainless steel (Inox)



## SWAGED SOCKETS

### Material

- Carbon steel
- Or stainless steel (Inox)

### Build-up

- Machined or cast items
- Swaged part and additional threaded components
- Adjustable or fixed in length

### Corrosion Protection

- Hot dip galvanised
- Or stainless steel (Inox)

### Properties

- Suitable for spiral strand ropes up to 36mm
- Transfers 90% of the minimum breaking load of the rope

## SPELTER SOCKETS

### Material

- Carbon steel
- Or stainless steel (Inox)

### Build-up

- Machined or cast items
- Spelter socketing
- Adjustable or fixed in length

### Corrosion Protection

- Hot dip galvanised
- Or stainless steel (Inox)

### Properties

- Suitable for all ropes and diameters
- Transfers 100% of the minimum breaking load of the rope

Obr. 5 Materiálové vlastnosti ocelových lan Fatzer

## 2.1.4 Spojovací prvky jednotlivých dílů

Všechny spojovací prvky jednotlivých dílů ocelové konstrukce jsou navrženy v pevnosti 8.8 v žárovém pozinku. Všechny spojovací prvky jednotlivých dílů membránové konstrukce jsou navrženy v pevnosti A4-70.

## 2.1.5 Povrchová úprava ocelových konstrukcí

Povrchová úprava všech ocelových konstrukcí se skládá z nátěrového systému určeného do prostředí se středním stupněm korozní agresivity C3 se životností více než 25 let. Povrch musí být velmi důkladně otryskán dle ISO 8501-1 (Stupeň Sa 2 1/2). Minimální tloušťka vrstev je 200 µm. Odstín nátěru je určen architektem. Nátěr je proveden po provedení montážních svarů kotev ke kotevním plechům.

Povrchová úprava všech nerezových konstrukcí je balotina.

## 2.2 Beton

### 2.2.1 Nosná betonová konstrukce – základy

Nosné betonové konstrukce – základy jsou navrženy z C20/25 – XF2 (CZ) – Cl 0,2 – D<sub>max</sub> 16 mm – S3.

## 2.3 Betonářská výztuž

Betonářská výztuž je B505B, minimální krytí v obou směrech je 50 mm.

## 2.4 Střešní membrána


Membrány jsou navrženy Serge Ferrari Flexlight Advanced Précontraint 1302 S2. Minimální pevnost 800/700 daN/5 cm ve směru osnovy a útku a vyšší z materiálu PES se zátěrem PVC a zalakováním PVDF, barva bílá, nebo dle specifikace.

Materiálová specifikace viz. obrázek níže.

PRECONTRAIT


1302 S2

Technical properties	Précontraint 1302 S2			Standards
Surface treatment (top/back)	S2 PVDF / PVDF			
Yarn	PES HT 1100/2200 Dtex			
Weight	1350 g/sqm • 39.8 oz/sqyd			EN ISO 2286-2
Width	267 cm • 105.1 in			(+1mm/-1mm)
Tensile strength (warp/weft)	800/700 daN/5cm 900/800 lbs/in			EN ISO 1421 ASTM D 751-00 Cut Strip
Tear resistance (warp/weft)	120/110 daN 200/180 lbs			DIN 53.363 ASTM D 751-00 Trapezoid
Adhesion	13 daN/5cm			EN ISO 2411
Flame retardancy				
Euroclass	C-s2,d0/EN 13501-1			
Rating	B1/DIN 4102-1 • BS 7837 • Test2/NFPA 701 • CSMF T19			
Warranty*				



> The technical data here above are average values with a +/- 5% tolerance

ADDITIONAL INFORMATION				
Total thickness	1.02 mm			
Coating thickness at the top of the yarns	250/250 microns			
Varnish adhesion longevity	QUVA 4000 h			pass
Dimensional stability				Scotch tape test
Elongation 24h - 10daN/5cm (warp/weft)	<1% / <1%			EN 15977
Residual elongation	<0.4% / <0.4%			EN 15977
Solar optical values	ASHRAE 74-1988			EN 410
Solar Transmittance (Ts)	5%			4%
Solar reflectance (Rs)	76%			82%
Solar Factor (g)	10%			8.5%
Visible light Transmittance (Tv)	--			2.5%
Visible light Reflectance (Rv)	--			90%
UV transmission				0%
Thermal and Acoustic performances				
Thermal conductivity (vertical/horizontal)	ca. U=5.6 / 6.4 W/sqm/°C			Calculated
Acoustic Weakening index	ca. 15dBA			ISO 717-1
LEED Heat island Effect				
Solar Reflectance Index	SRI >95%			SSc 7.2/SSc 7.1 [ISO 14041-44]
Environmental Impact: LCA (Life Cycle Assessment)				
Comparative analysis depending on end-of-life scenarios	Texyloop® Recycling	Incineration	Landfill	1 sqm membrane
Global warming	3.185	6.115	5.274	Kilograms eq. CO <sub>2</sub>
Energy consumption	70.95	132.9	132.9	Megajoul eq.
Water consumption	161.9	406.2	404	Litre
Management systems				
Quality in conformity with				ISO 9001
Environmental communication in conformity with				ISO 14021
Certifications, labels, recycling capacity				



LCA and LEED reports available on request

GB

Précontraint is a Serge Ferrari registered trade mark.

Feb 1987 - 20th April 2023

Obr. 6 Materiálová specifikace střešní membrány Serge Ferrari



### 3 ZATÍŽENÍ

#### 3.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha je vypočítána přímo v programu RFEM – Dlubal Software.

Ocel:  $\rho = 7\,850 \text{ kg/m}^3$

Membrána:  $1\,350 \text{ g/m}^2$

#### 3.2 Předpětí

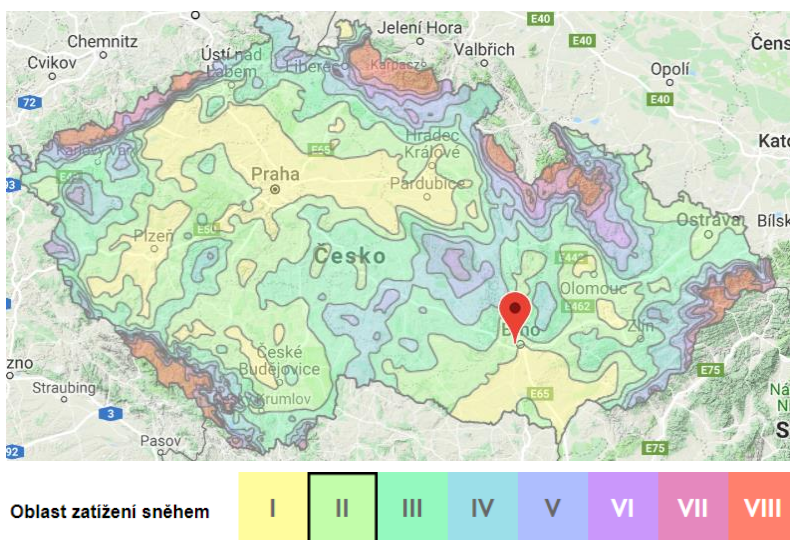
Teoretické hodnoty pro počáteční předpětí v modelu:

- předpětí membrány je  $2,5 \text{ kN/m}$  ve směru x,  $1,5 \text{ kN/m}$  ve směru y
- předpětí kotevních lan je  $20 \text{ kN}$
- předpětí obvodových lan je  $5 \text{ kN}$

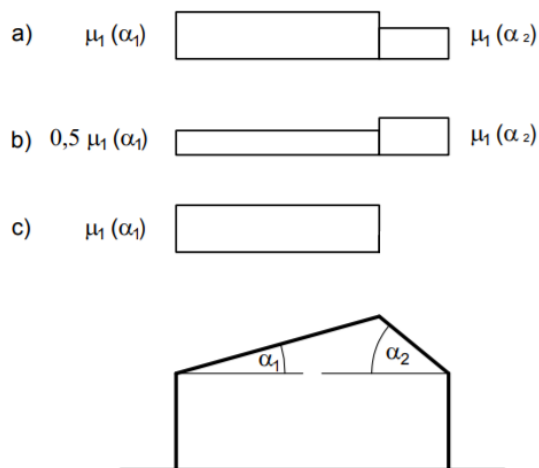
#### 3.3 Zatížení sněhem

Objekt se nachází ve II. sněhové oblasti, kde charakteristická tíha ulehleho sněhu je  $s_k=1,0 \text{ kN/m}^2$ . Střecha objektu má přibližně tvar sedla se sklonem  $20^\circ$ - $27^\circ$ . Vzhledem k tomu, že se ale nejedná o typickou střechu, je uvažováno s tvarovým součinitelem střechy  $\mu_i=1,0$ . Tento součinitel je na straně bezpečnosti I z důvodu, že není zcela známá možnost hromadění sněhu na membráně.

- II. sněhová oblast  $s_k=1,0 \text{ kN/m}^2$
- sklon střechy  $\alpha=20^\circ$ - $27^\circ$   $\mu_i=1,0$  ... tvarový součinitel
- součinitel expozice  $C_e=1,0$  (v okolí nedochází k výraznému přemístění sněhu větrem)
- součinitel tepla  $C_t=1,0$  (teplotní propustnost střechy  $< 1 \text{ W/m}^2\text{K}$ )



Obr. 7 Sněhová oblast v místě stavby



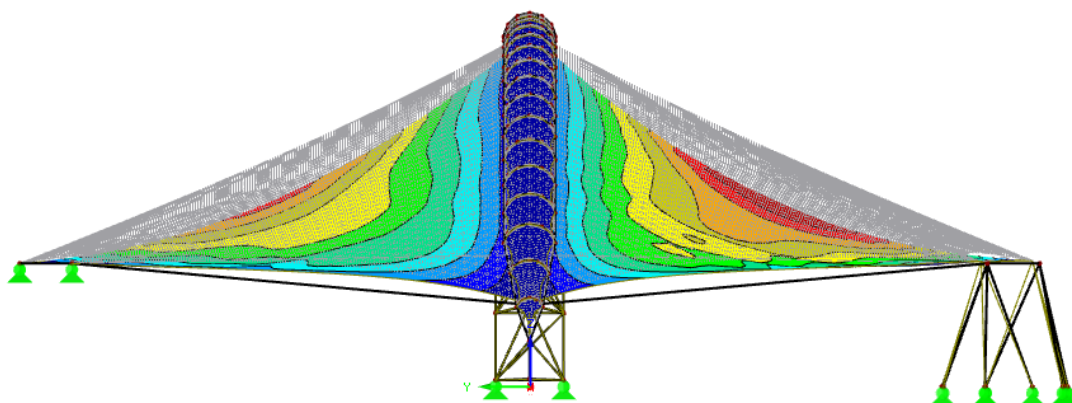
Obr. 8 Tvarový součinitel zatížení sněhem

Vzhledem k symetrii konstrukce podle obou os je varianta prostřídání zatížení na jednotlivých polovinách vynechána a nahrazena variantou, kdy je plný sníh pouze na polovině konstrukce a na druhé polovině žádný není.

$$s_{e,k} = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \underline{1,0 \text{ kN/m}^2}$$

$$s_{e,d} = s_{e,k} \cdot \gamma_f = 1,0 \cdot 1,5 = \underline{1,5 \text{ kN/m}^2}$$

Navýšení zatížení sněhu (sněhový převis, návěj) není ve výpočtu uvažováno, protože ani při deformovaném stavu membránové konstrukce nevznikne prohlubeň, kde by se sníh mohl hromadit. Je zde vidět, že se deformací nemění geometrické poměry konstrukce.



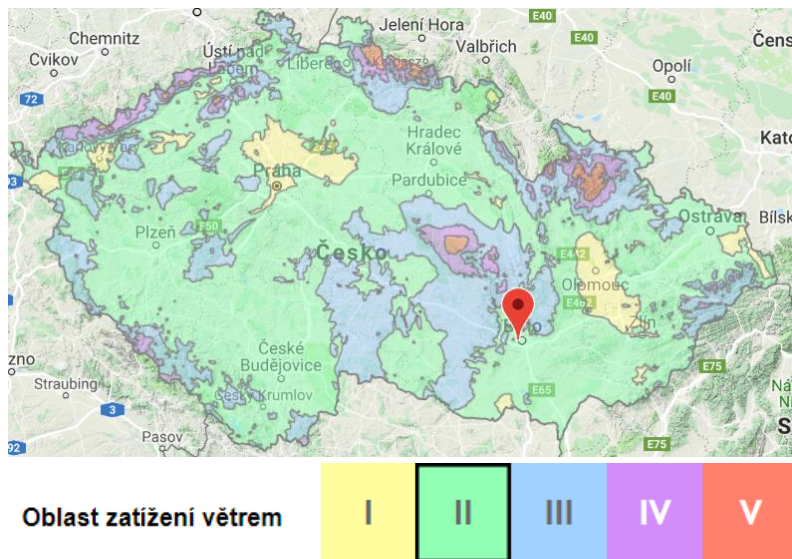
Obr. 9 Deformovaný tvar membránové konstrukce

### 3.4 Zatížení větrem

- II. větrná oblast
- III. Kategorie terénu

$$v_{b,0} = 25,0 \text{ m.s}^{-1}$$

$$z_0 = 0,3 \text{ m}; z_{min} = 5 \text{ m}$$



Obr. 10 Větrná oblast v místě stavby

### 3.4.1 Základní rychlost větru

- $C_{dir} = 1,0$
- $C_{season} = 1,0$

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = \underline{25,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

### 3.4.2 Střední rychlost větru

- $z_{max} = 200 \text{ m}$
- $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$
- $z = 14,2 \text{ m}$  ... výška objektu
- $c_0 = 1,0$

$$z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$5 \text{ m} \leq 14,2 \text{ m} \leq 200 \text{ m}$$

$$k_r = 0,19 \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left( \frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = \underline{0,22}$$

$$c_{r(z)} = k_r \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 0,215 \cdot \ln \left( \frac{14,2}{0,3} \right) = \underline{0,85}$$

$$v_{m(z)} = c_{r(z)} \cdot c_{0(z)} \cdot v_b = 0,85 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = \underline{21,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

Intenzita turbulence

- $k_I = 1,0$

$$I_{v(z=14,2)} = \frac{k_I}{c_{0(z)} \ln \left( \frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln \left( \frac{14,2}{0,3} \right)} = \underline{0,26}$$



### 3.4.3 Maximální dynamický tlak

- $\rho = 1,25 \text{ kg.m}^3$

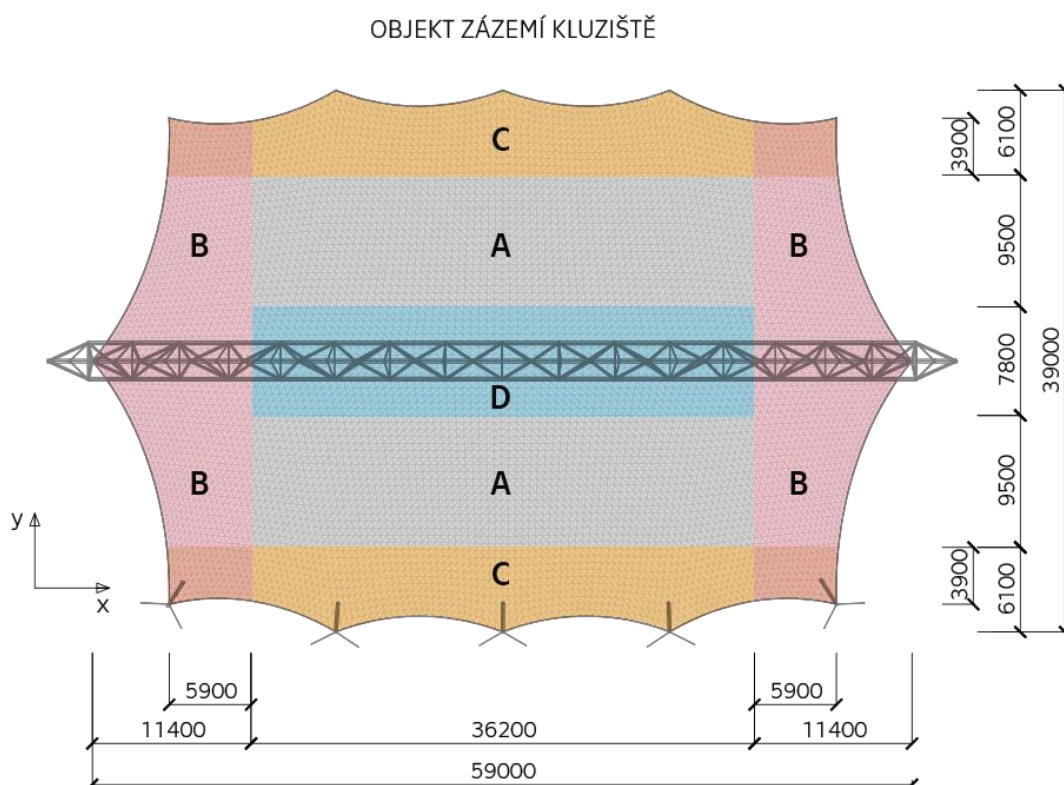
$$q_{p(z)} = [1 + 7 \cdot I_{v(z)}] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_{m(z)}^2 = [1 + 7 \cdot 0,26] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 21,25^2 = \underline{0,795 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}}$$

### 3.4.4 Tlak větru na vnější povrchy

$$w_e = q_p \cdot c_{p,net} = \underline{0,795 \cdot c_{p,net} \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}}$$

Konstrukce zastřešení je rozdělena na oblasti A, B, C, D dle popisu v normě na přístřešky. Minimální vzdálenost 3 900 mm a 5 900 mm je 1/10 celkového rozměru strany a je uvažována na nejkratší části plachty, takže celkově je plocha B a C větší, a tudíž na straně bezpečnosti. Vzhledem k tomu, že se sklon mění po celé membráně mezi 20°-27°, je uvažováno s průměrným sklonem 25°. Součinitel plnosti se mění dle směru větru. V ose x je počítáno s prázdným přístřeškem, tj.  $\varphi = 0$ , v ose y je objekt pro zázemí kluziště, tj.  $\varphi = 1$ . Pro výpočet globální analýzy navazující konstrukce je zatížení určeno přes vážený průměr součinitele výsledného tlaku  $c_{p,net}$  a plochy jednotlivých oblastí.

$$\text{Obecně vážený průměr: } c_{p,net} = \frac{A \cdot c_{pe,A} + B \cdot c_{pe,B} + C \cdot c_{pe,C} + D \cdot c_{pe,D}}{A+B+C+D}$$



Obr. 11 Oblasti rozdělení střechy pro zatížení větrem

VÍTR TLAK [maximum všech $\varphi$ ]						
OBLAST	PLOCHA [m <sup>2</sup> ]	C <sub>p,net</sub> [-]	VÁŽENÝ PRŮMĚR C <sub>p,net</sub> [-]	W <sub>e,k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Y <sub>F</sub> [-]	W <sub>e,D</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
A	746	1,2	1,36	1,08	1,50	1,62
B	557	1,9				
C	381	1,6				
D	326	0,5				

VÍTR SÁNÍ - SMĚR X [ $\varphi = 0$ ]						
OBLAST	PLOCHA [m <sup>2</sup> ]	C <sub>p,net</sub> [-]	VÁŽENÝ PRŮMĚR C <sub>p,net</sub> [-]	W <sub>e,k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Y <sub>F</sub> [-]	W <sub>e,D</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
A	746	-1,4	-1,64	-1,30	1,50	-1,95
B	557	-1,9				
C	381	-1,4				
D	326	-2,0				

VÍTR SÁNÍ - SMĚR Y [ $\varphi = 1$ ]						
OBLAST	PLOCHA [m <sup>2</sup> ]	C <sub>p,net</sub> [-]	VÁŽENÝ PRŮMĚR C <sub>p,net</sub> [-]	W <sub>e,k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Y <sub>F</sub> [-]	W <sub>e,D</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
A	746	-1,4	-1,68	-1,34	1,50	-2,01
B	557	-2,0				
C	381	-1,5				
D	326	-2,0				

Obr. 12 Zatížení větrem na jednotlivé oblasti zastřešení

### 3.5 Další zatížení

#### 3.5.1 Proměnné zatížení – údržba

Předpokládáné zatížení membránové konstrukce v době údržby je 0,75 kN/m<sup>2</sup>. Vzhledem k tomu, že je menší než již uvažované stavy od klimatických podmínek, není ve výpočtu zahrnuto.

Vylučuje se pohyb osob po membráně za přítomnosti souvislé sněhové pokrývky, dovoleno je pouze odklizení sněhu.

#### 3.5.2 Proměnné zatížení – námraza

Předpokládáné zatížení membránové konstrukce v době námrazy je 0,3 kN/m<sup>2</sup>. Vzhledem k tomu, že je menší než již uvažované stavy od klimatických podmínek, není ve výpočtu zahrnuto.

### 3.5.3 Proměnné zatížení – lokální přetížení vazníku (reklama, ...)

Předpokládáné zatížení vazníku v době lokálního přetížení vazníku je  $1 \text{ kN/m'}$ . Vzhledem k tomu, že je menší, než již uvažované zatěžovací stavy, není ve výpočtu zahrnuto.

## 4 NUMERICKÝ VÝPOČETNÍ MODEL

### 4.1 Popis modelu

Pro výpočet ocelové konstrukce včetně membránového zastřešení je využit program RFEM – Dlubal Software, kde je vytvořen prostorový model dle navrhované geometrie konstrukce. Prvky hlavního oblouku jsou modelovány jako nosníky, sloupy jsou navrženy jako tlačené a lana jako tažené prvky. Přenos zatížení z membrány do podpůrné konstrukce je zajištěn dále pomocí ocelových lan v okrajích membrány.

Celková stabilita podpůrné ocelové konstrukce je zajištěna jednak geometrií vazníku, druhá pomocí předepnuté membránové konstrukce, obvodových a kotevních ocelových lan.

V modelu jsou simulovány všechny zatěžovací stavy respektující očekávané zatížení v průběhu životnosti stavby. Výpočet byl proveden teorií II. řádu pro všechny zatěžovací stavy.

Výpočet je proveden v 1 modelu (ocel i membrána) a tedy zahrnuje spolupůsobení podpůrné konstrukce s membránou.

### 4.2 Zatěžovací stavy

#### 4.2.1 Přehled zatěžovacích stavů

Označení ZS		
ZS0	<i>FF</i>	FormFinding (předchází všem výpočtům)
ZS1	<i>G</i>	Vlastní tíha
ZS2	<i>P</i>	Předpětí
ZS3	<i>Spl</i>	Sníh plný + plný
ZS4	<i>Sxpp</i>	Sníh x plný + půl
ZS5	<i>Sxpn</i>	Sníh x plný + nic
ZS6	<i>Sypp</i>	Sníh y plný + půl
ZS7	<i>Sypn</i>	Sníh y plný + nic
ZS8	<i>Vtl</i>	Vítr tlak – oba směry
ZS9	<i>Vxs</i>	Vítr x sání
ZS10	<i>Vys</i>	Vítr y sání

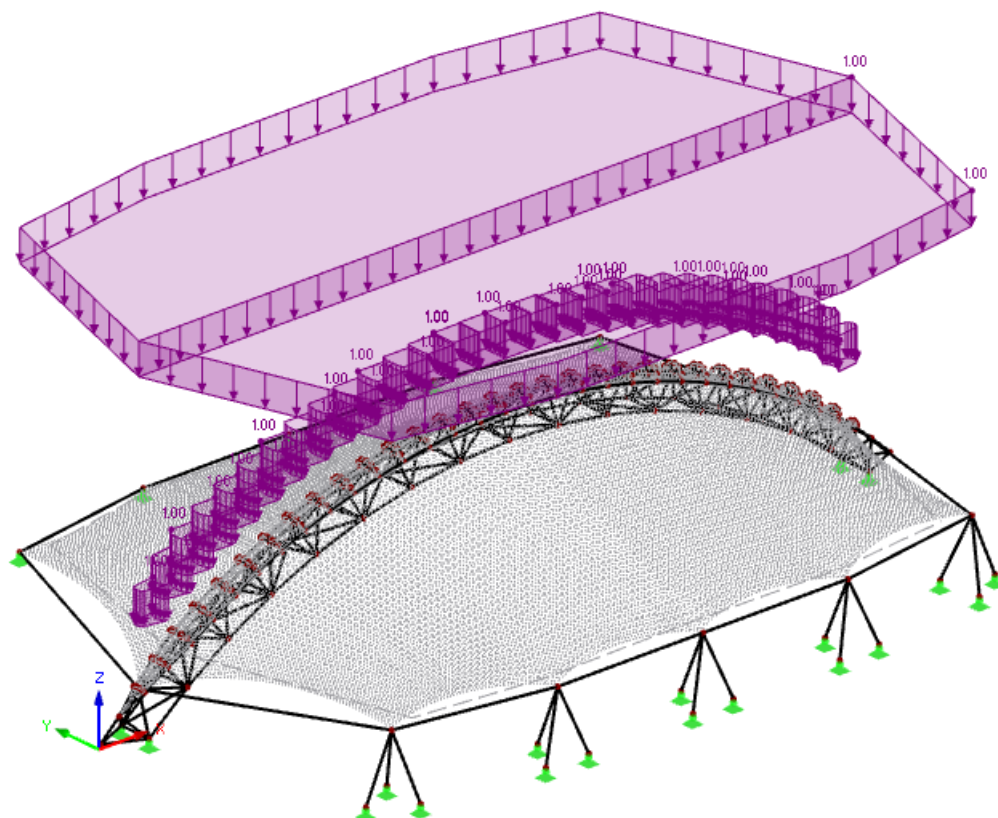
Tab. 1 Přehled zatěžovacích stavů

Ve výpočtu je uvažováno zvláště se zatěžovacím stavem Vlastní tíha a Předpětí. Hodnota předpětí bude při aplikaci přísně sledována, a proto není důvod násobit bezpečnostním součinitelem 1,35.

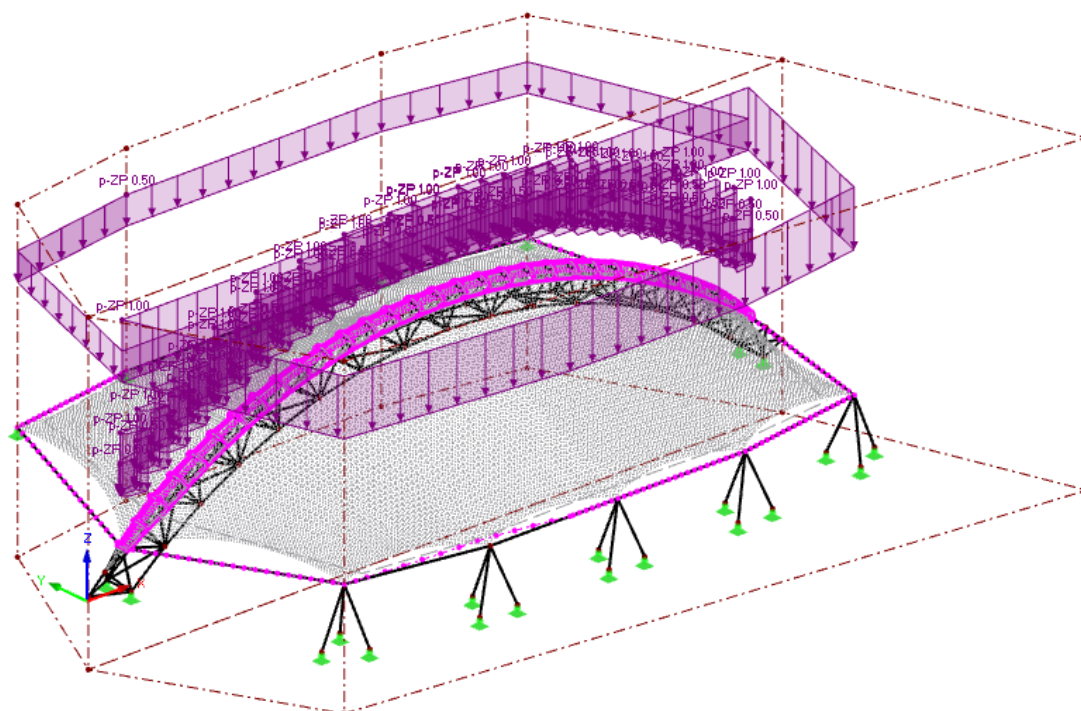




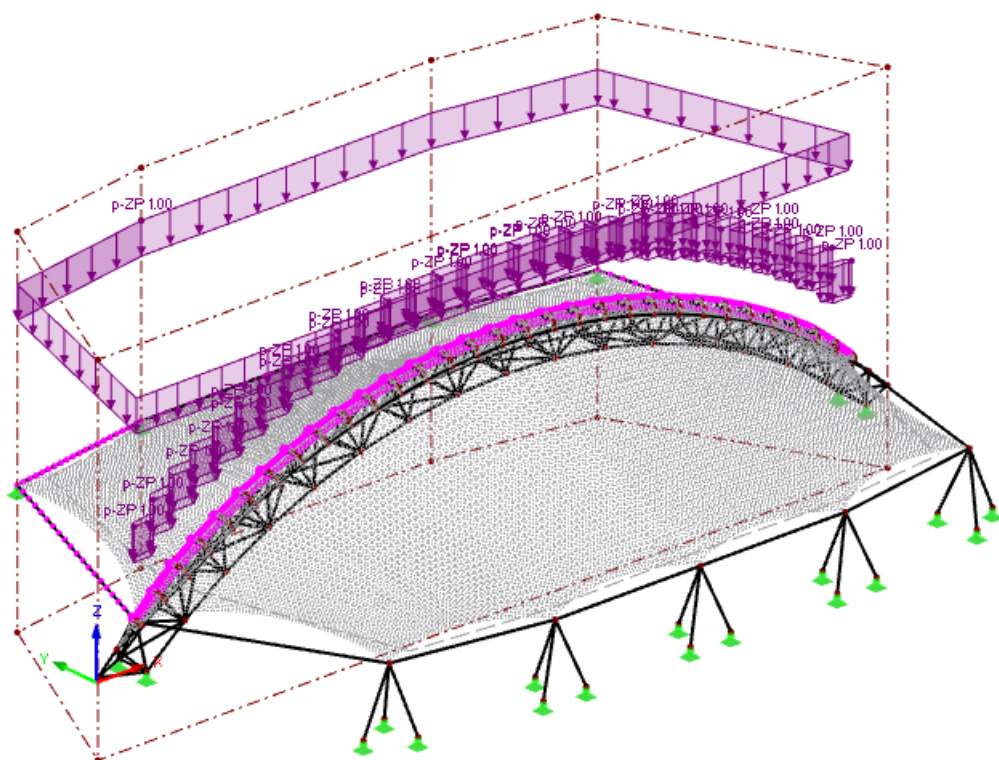
- ZS3 – Sníh plný + plný



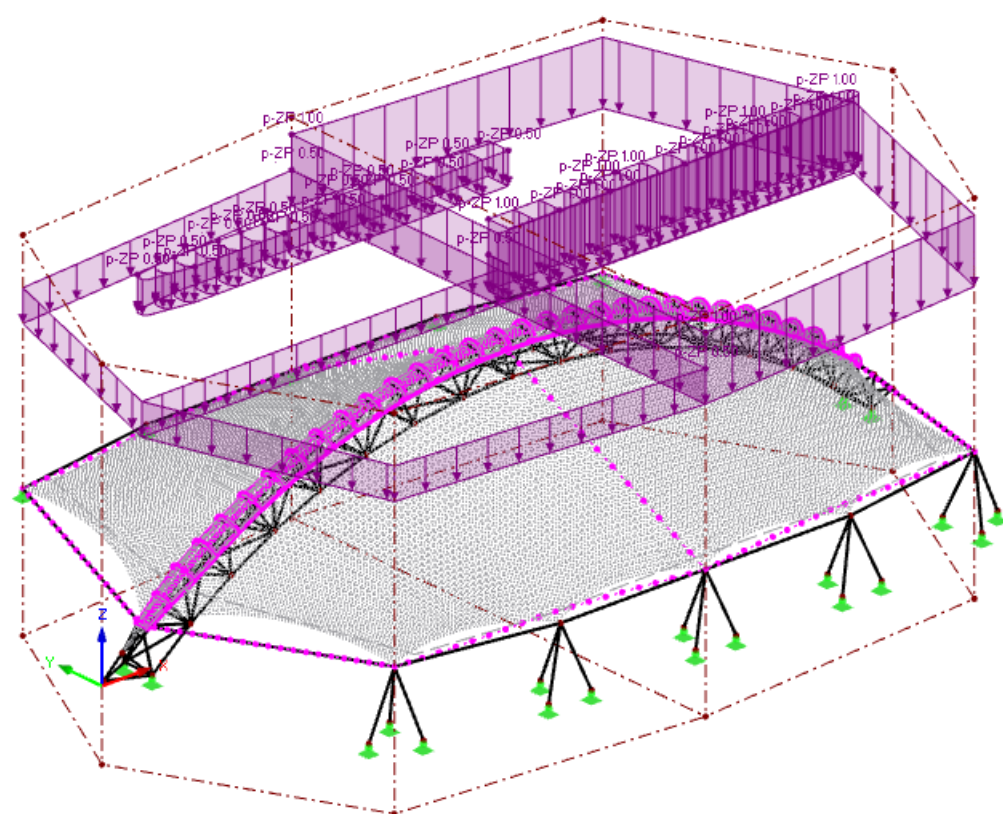
- ZS4 – Sníh x plný + půl



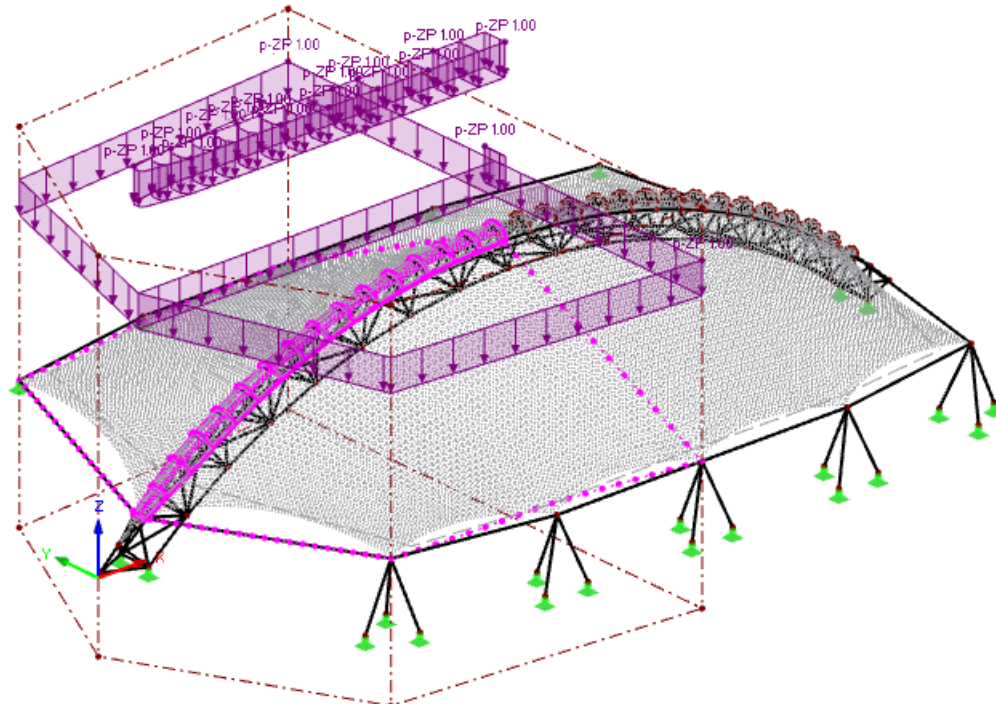
- ZS5 – Sníh x plný + nic



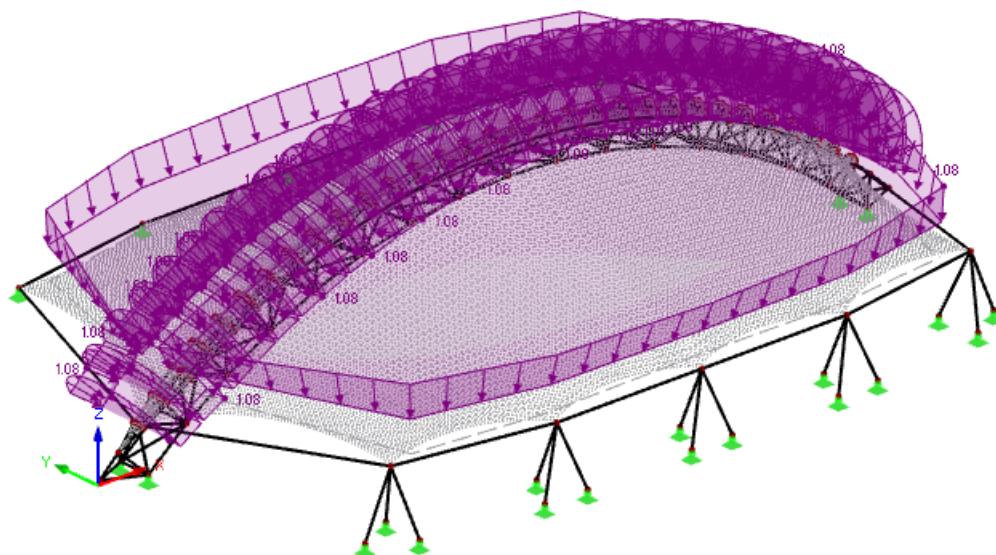
- ZS6 – Sníh y plný + půl



- ZS7 – Sníh y plný + nic

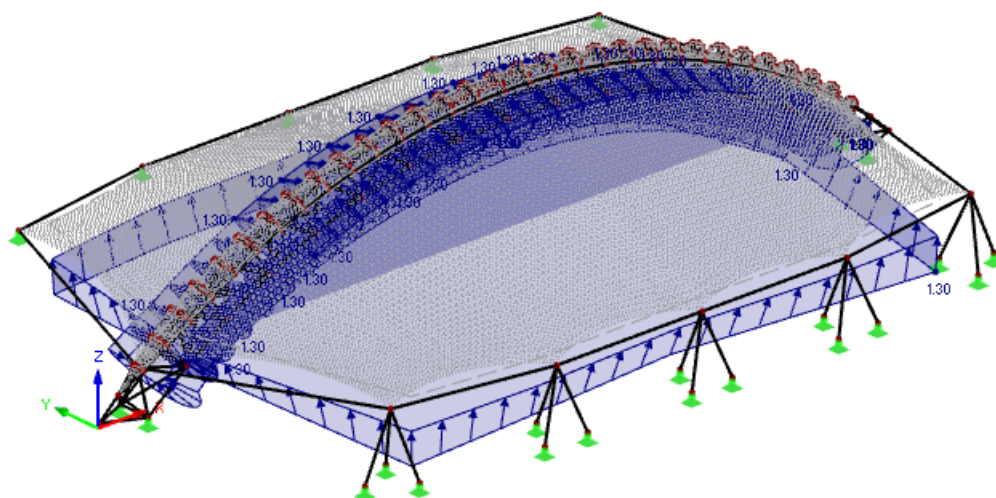


- ZS8 – Vítr tlak – oba směry

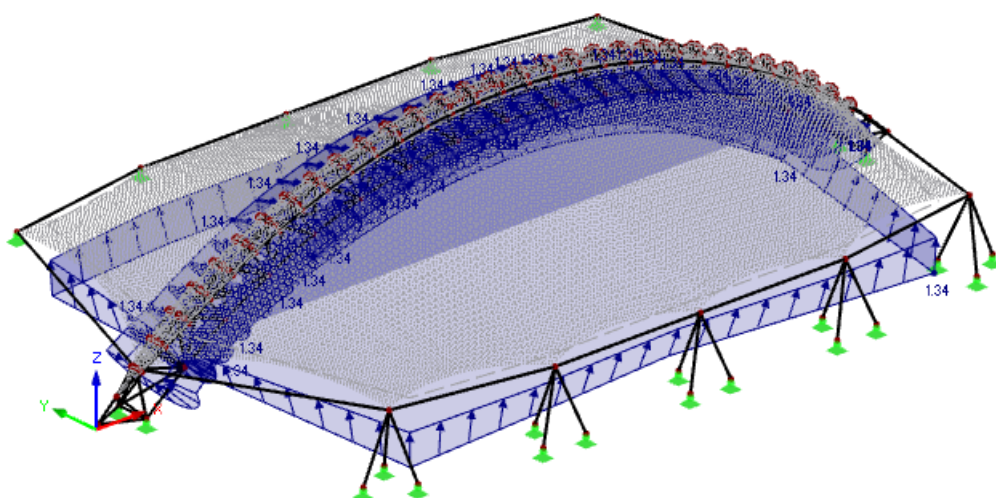




- ZS9 – Vítr x sání



- ZS10 – Vítr y sání



### 4.3 Kombinace zatěžovacích stavů

#### 4.3.1 Přehled kombinací zatěžovacích stavů

Označení KZ			
KZ1		$1,35 \cdot ZS1 + 1,00 \cdot ZS2$	$1,35 \cdot G + 1,00 \cdot P$
KZ2	MSÚ	$1,35 \cdot ZS1 + 1,00 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS8 + 0,75 \cdot ZS3$	$1,35 \cdot G + 1,00 \cdot P + 1,5 \cdot Vtl + 0,75 \cdot Spl$
KZ3		$1,35 \cdot ZS1 + 1,00 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS8 + 0,75 \cdot ZS4$	$1,35 \cdot G + 1,00 \cdot P + 1,5 \cdot Vtl + 0,75 \cdot Sxpp$
KZ4		$1,35 \cdot ZS1 + 1,00 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS8 + 0,75 \cdot ZS5$	$1,35 \cdot G + 1,00 \cdot P + 1,5 \cdot Vtl + 0,75 \cdot Sxpn$
KZ5		$1,35 \cdot ZS1 + 1,00 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS8 + 0,75 \cdot ZS6$	$1,35 \cdot G + 1,00 \cdot P + 1,5 \cdot Vtl + 0,75 \cdot Sypp$
KZ6		$1,35 \cdot ZS1 + 1,00 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS8 + 0,75 \cdot ZS7$	$1,35 \cdot G + 1,00 \cdot P + 1,5 \cdot Vtl + 0,75 \cdot Sypn$
KZ7		$1,00 \cdot ZS1 + 1,00 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS9$	$1,00 \cdot G + 1,00 \cdot P + 1,5 \cdot Vxs$
KZ8		$1,00 \cdot ZS1 + 1,00 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS10$	$1,00 \cdot G + 1,00 \cdot P + 1,5 \cdot Vys$
KZ9	MSP	$ZS1 + ZS2 + ZS8 + 0,5 \cdot ZS3$	$G + P + Vtl + 0,5 \cdot Spl$
KZ10		$ZS1 + ZS2 + ZS8 + 0,5 \cdot ZS4$	$G + P + Vtl + 0,5 \cdot Sxpp$
KZ11		$ZS1 + ZS2 + ZS8 + 0,5 \cdot ZS5$	$G + P + Vtl + 0,5 \cdot Sxpn$
KZ12		$ZS1 + ZS2 + ZS8 + 0,5 \cdot ZS6$	$G + P + Vtl + 0,5 \cdot Sypp$
KZ13		$ZS1 + ZS2 + ZS8 + 0,5 \cdot ZS7$	$G + P + Vtl + 0,5 \cdot Sypn$
KZ14		$ZS1 + ZS2 + ZS9$	$G + P + Vxs$
KZ15		$ZS1 + ZS2 + ZS10$	$G + P + Vys$

Tab. 2 Přehled kombinací zatěžovacích stavů

#### 4.4 Přehled kombinací výsledků

Označení KV			
KV1	MSÚ	Návrhová	Maxima z KZ2-KZ8
KV2	MSP	Charakteristická	Maxima z KZ9-KZ15

Tab. 3 Přehled kombinací výsledků

##### 4.4.1 Vykreslení vnitřních sil na konstrukci – KV1, KV2

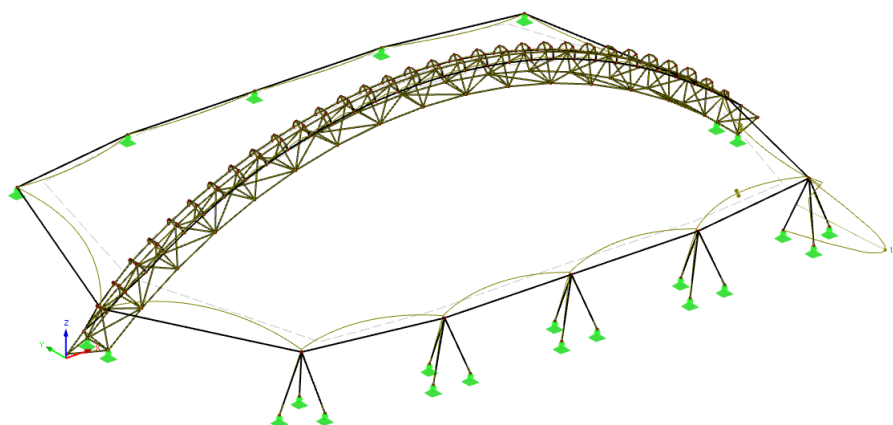
Výsledky vnitřních sil jsou uvedeny u posouzení jednotlivých prutů relevantně se vztahujícími obrázky.

### 4.5 Stabilita

Ztrátě stability vazníku z roviny je bráněno díky vzájemné interakci s předepnutou membránovou konstrukcí, což dokazuje i 1. vlastní tvar, kdy vybočuje sloup ve své vlastní rovině, což není pro globální analýzu podstatný tvar. Vlastní tvar, který vykazuje vybočení prvního prvku vazníku, ukazuje, že vazník vybočí dříve ve svislém směru než ve vodorovném.

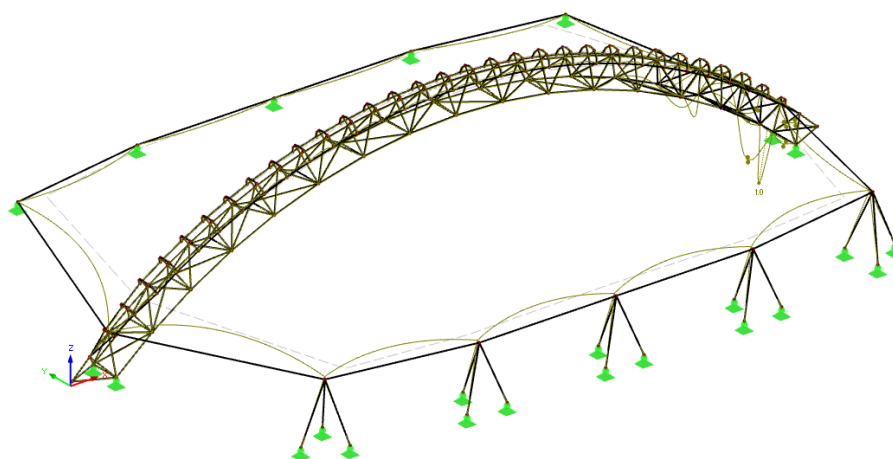
Závěrem této stabilitní analýzy je, že pruty příhradové konstrukce lze posuzovat jako jednotlivé prvky se svými vzpěrnými délkami. Rozhodující pro tlačené prvky jsou jejich jednotlivé lokální vybočení. Globální tvar nemá pro návrh celého vazníku rozhodující význam.

1. Vlastní tvar –  $\alpha_{\text{crit}} = 3,486$



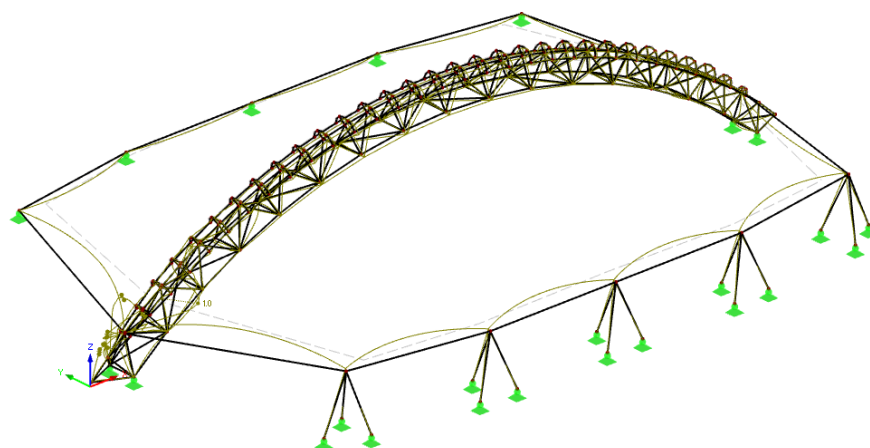
11. Vlastní tvar –  $\alpha_{\text{crit}} = 5,563$

Vybočuje vodorovná diagonála ve svislém směru.



14. Vlastní tvar –  $\alpha_{\text{crit}} = 6,098$

Vybočuje hlavní spodní pás ze své roviny.



## 5 NÁVRH A POSOUZENÍ PRVKŮ KONSTRUKCE NA MSÚ

### 5.1 Návrh a posouzení lanových prvků na tah

Nerezová lana byla zvolena od Firmy Fatzer.

PARAMETRY LANA									
Nominální Ø	d [mm]	8	24	26	32	34	36	40	45
Materiál	-	1.4401 (AISI 316)							
Průřezová plocha lana	A [mm <sup>2</sup> ]	39	350	410	618	701	784	929	1 180
Modul pružnosti	E [kN/mm <sup>2</sup> ]	130	130	130	130	130	130	130	130
Tuhost	EA [MN]	5,07	45,5	53,3	80,4	91,1	102	121	153
Váha	G [kg/m]	0,3	2,9	3,4	5,1	5,8	6,5	7,7	9,8
Minimální mez pevnosti	F <sub>min</sub> [kN]	56,3	489	572	854	968	1 083	1 198	1 517
Součinitel vlivu koncovky	k <sub>e</sub> [-]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0
Charakteristická mez pevnosti	F <sub>uk</sub> [kN]	50,7	440	515	769	871	975	1 198	1 517
Návrhová únosnost lana	F <sub>Rd</sub> [kN]	33,8	294	343	513	581	650	799	1 011

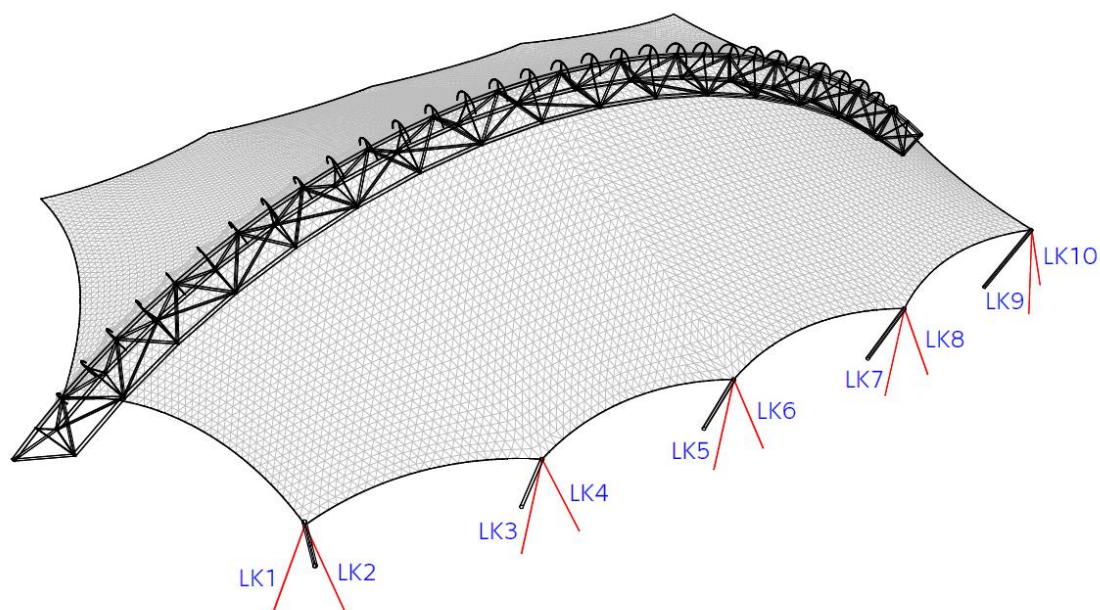
Tab. 4 Parametry lan Fatzer

$$F_{uk} = F_{min} \cdot k_e$$

$$F_{Rd} = \frac{F_{uk}}{1,5 \cdot \gamma_R}$$

$$\gamma_R = 1,0$$

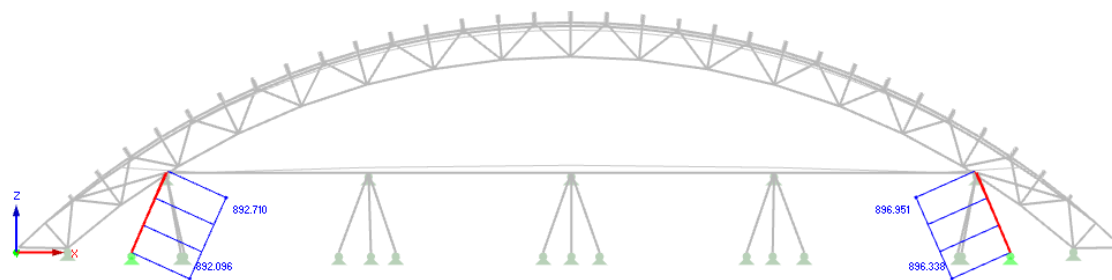
## 5.1.1 Návrh a posouzení kotevních lan



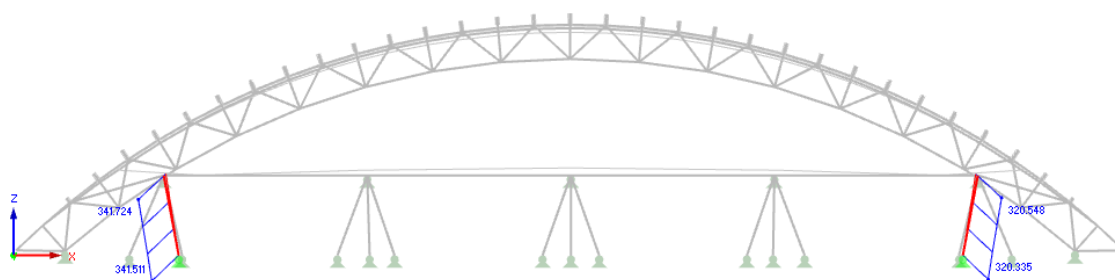
Obr. 13 Schéma kotevních lan

		LK1 LK10	LK2 LK9	LK3 LK8	LK4 LK7	LK5 LK6
Normálová tahová síla	$N_{t,Ed}$ [kN]	897	342	765	277	583
Průměr lana Fatzer	$d$ [mm]	45	26	40	24	36
Návrhová únosnost lana	$N_{t,Rd}$ [kN]	1 011	343	799	294	650
Rovnice pro posouzení	$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$	0,89	0,99	0,96	0,94	0,90

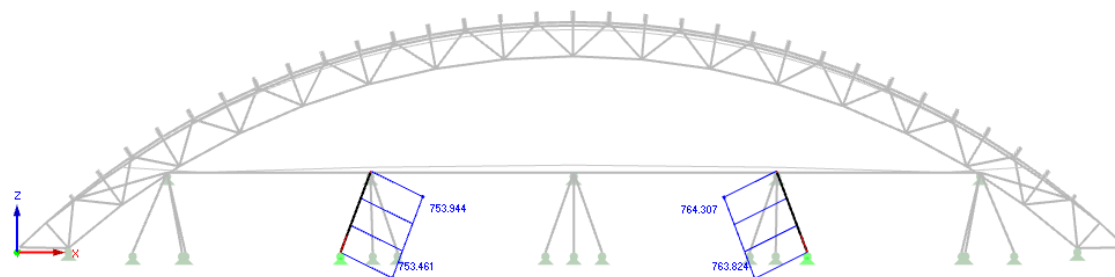
Tab. 5 Návrh a posouzení kotevních lan



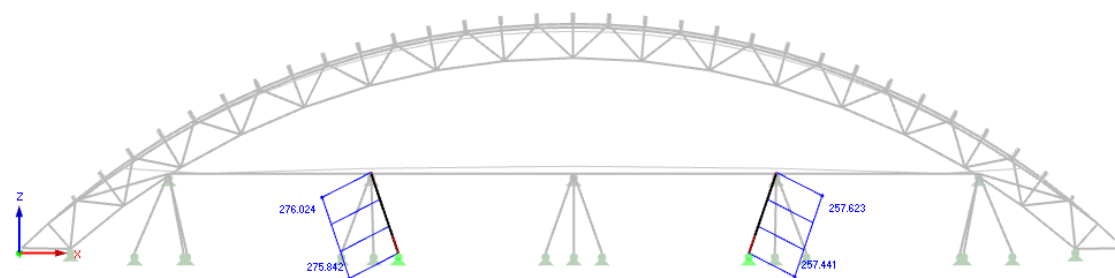
Obr. 14 Normálová síla na LK1 a LK10



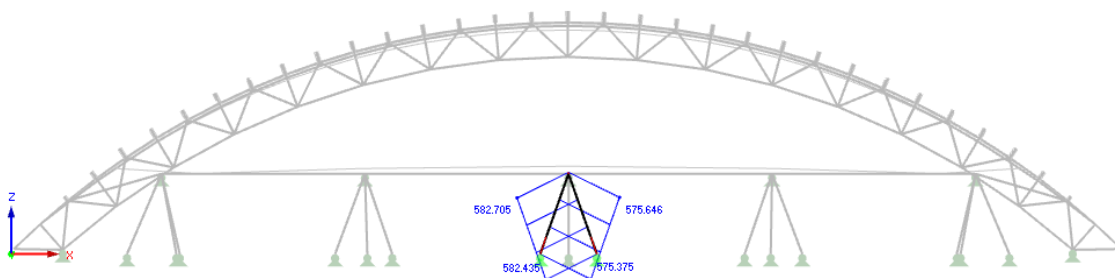
Obr. 15 Normálová síla na LK2 a LK9



Obr. 16 Normálová síla na LK3 a LK8

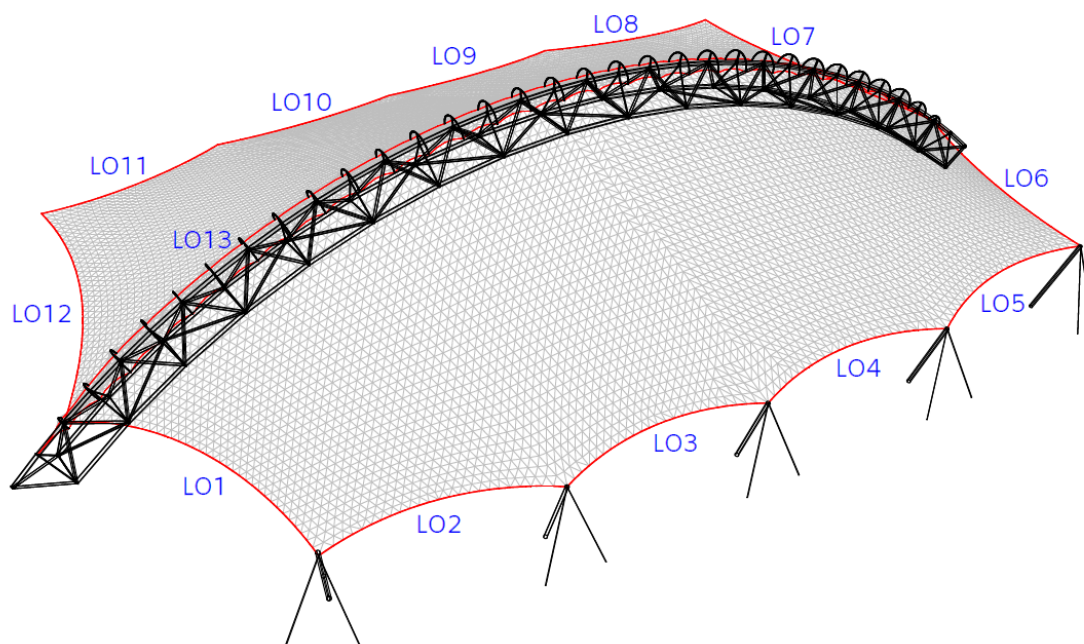


Obr. 17 Normálová síla na LK4 a LK7



Obr. 18 Normálová síla na LK5 a LK6

## 5.1.2 Návrh a posouzení obvodových lan

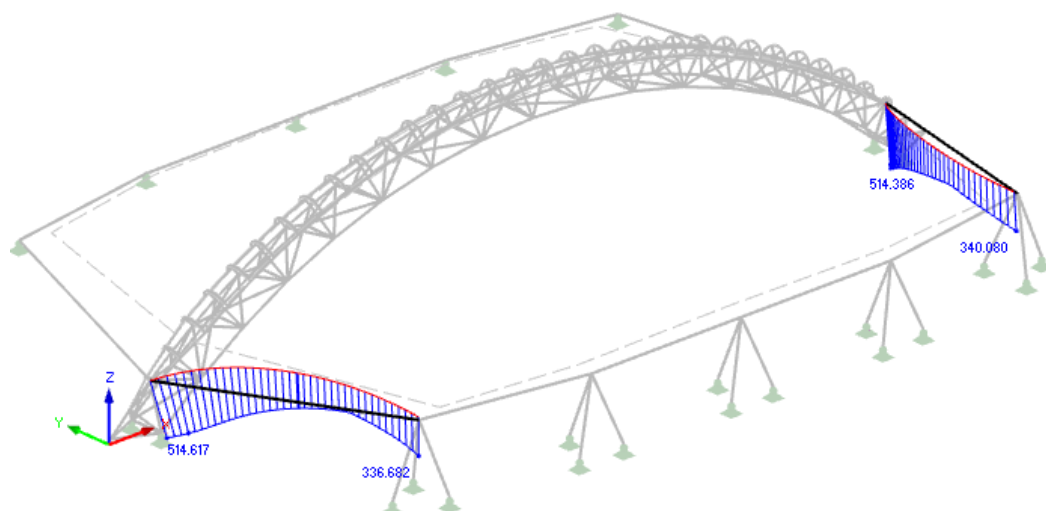


Obr. 19 Schéma obvodových lan

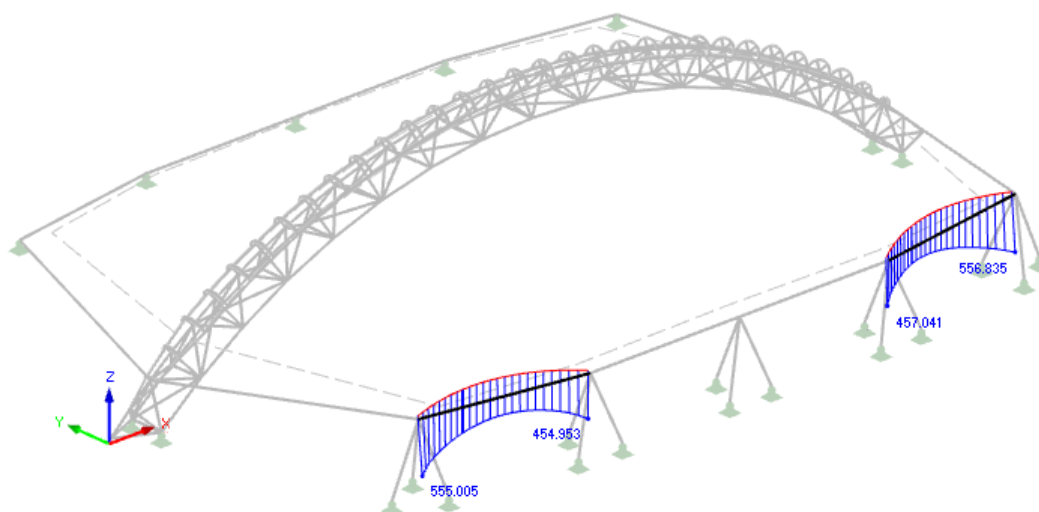
		LO1 LO6	LO2 LO5	LO3 LO4	LO7 LO12	LO8 LO11	LO9 LO10	LO13
Normálová tahová síla	$N_{t,Ed}$ [kN]	515	557	648	594	641	750	6,1
Průměr lana Fatzer	$d$ [mm]	34	34	36	36	36	40	8
Návrhová únosnost lana	$N_{t,Rd}$ [kN]	581	581	650	650	650	799	33,8
Rovnice pro posouzení	$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$	0,89	0,96	0,99	0,91	0,99	0,94	0,18

Tab. 6 Návrh a posouzení obvodových lan

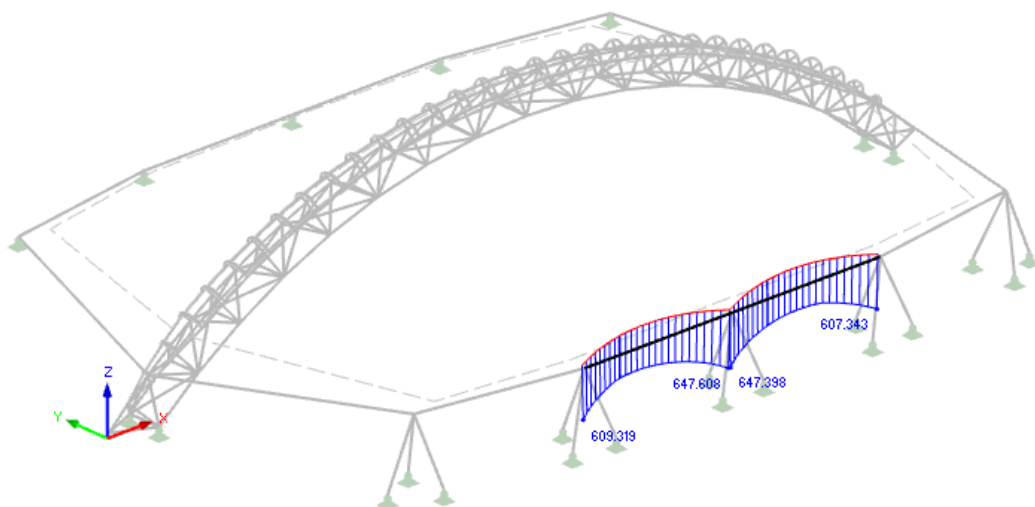




Obr. 20 Normálová síla na LO1 a LO6

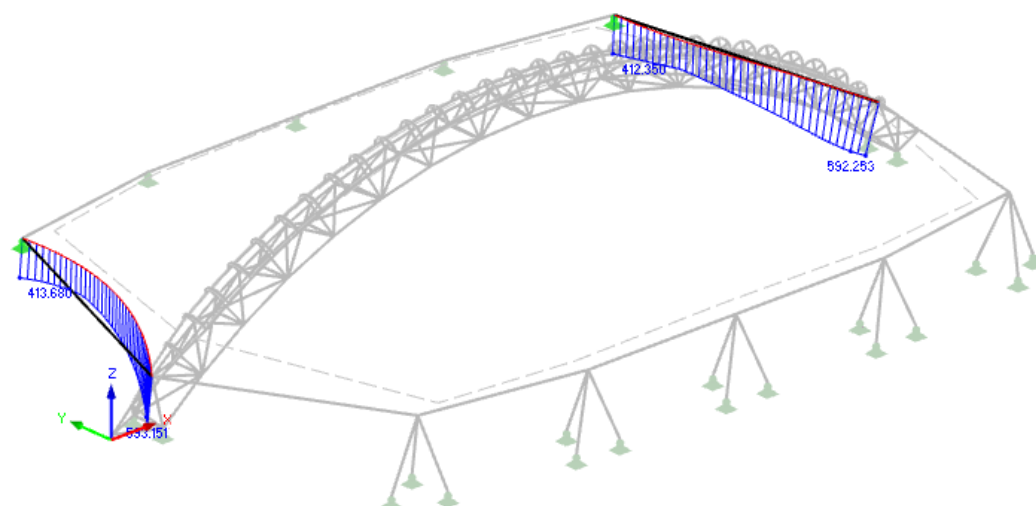


Obr. 21 Normálová síla na LO2 a LO5

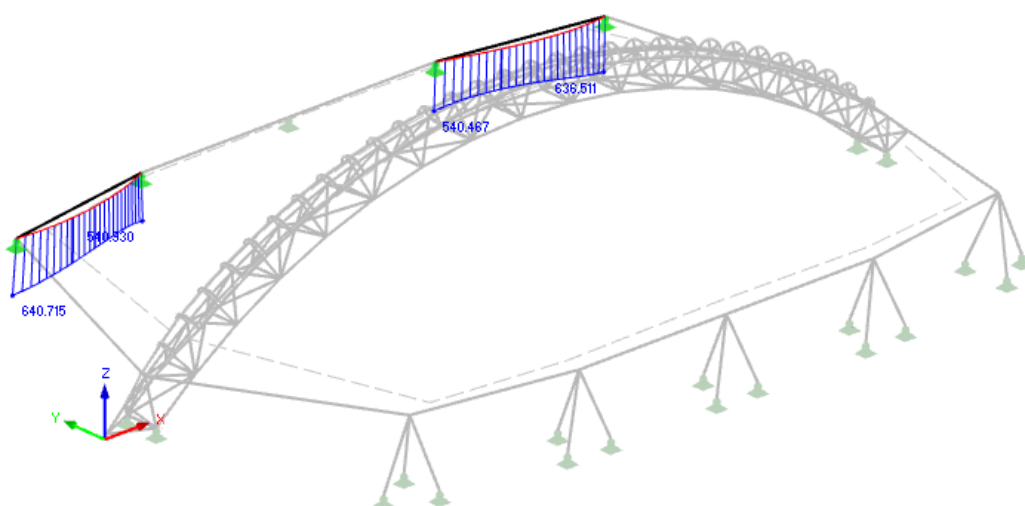


Obr. 22 Normálová síla na LO3 a LO4

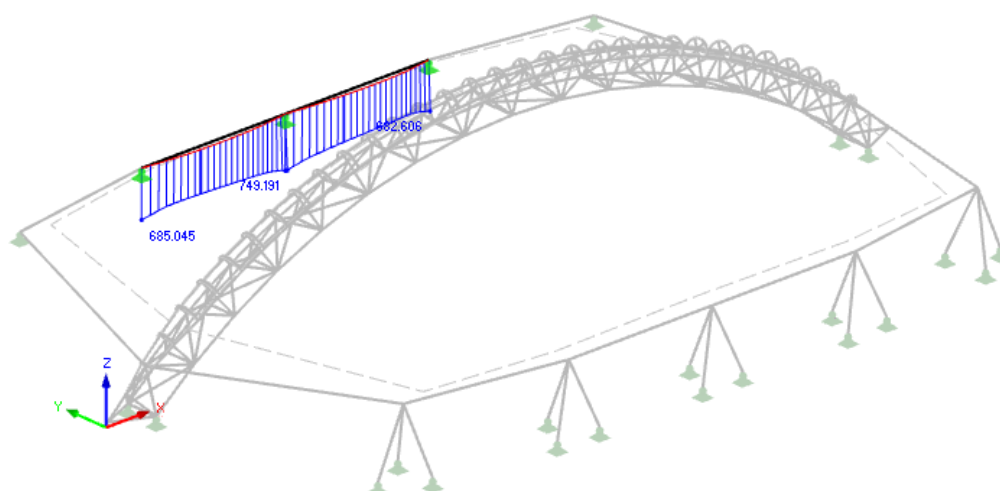




Obr. 23 Normálová síla na LO7 a LO12

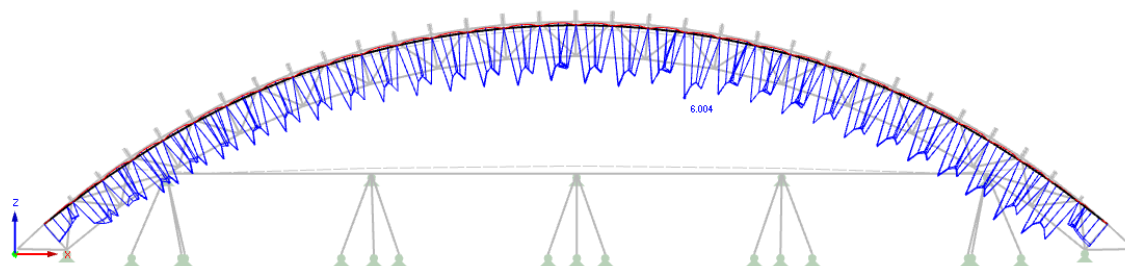


Obr. 24 Normálová síla na LO8 a LO11



Obr. 25 Normálová síla na LO9 a LO10

Všechna lana nenosné části hřbetu jsou označena jako L013.

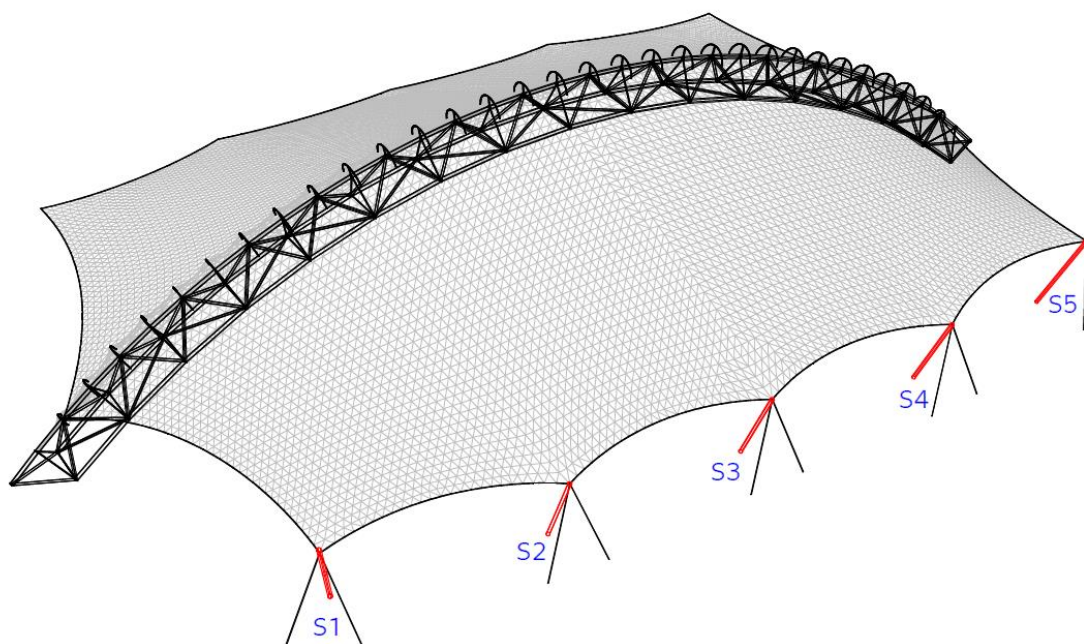


Obr. 26 Normálová síla na L013

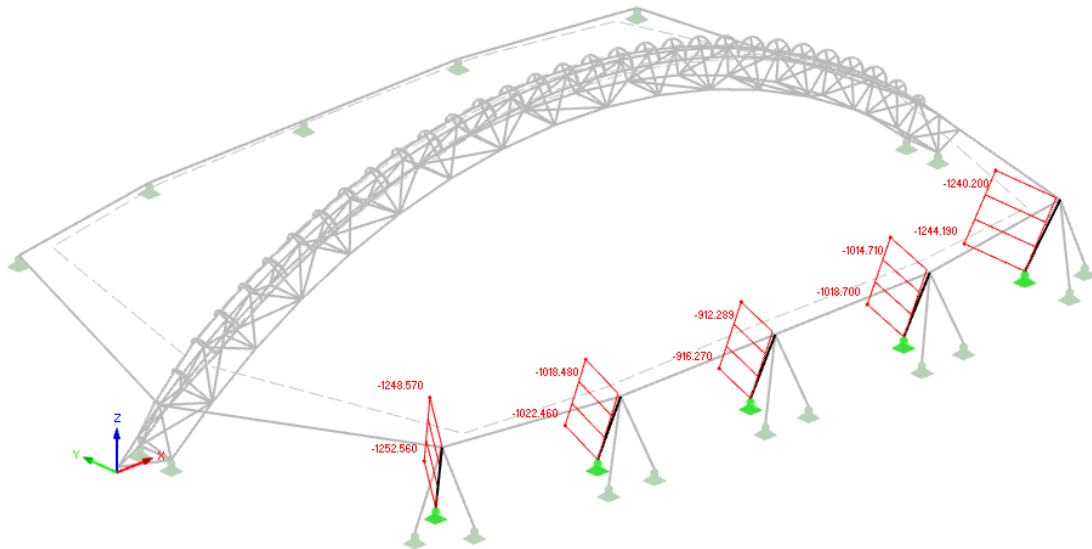
## 5.2 Návrh a posouzení ocelových prvků na vzpěrnou únosnost

Vzpěrná délka všech prutů je uvažována jako vzdálenost uzlů v osovému modelu konstrukce.

## 5.3 Návrh a posouzení sloupů



Obr. 27 Schéma sloupů



Obr. 28 Normálové síly na sloupech

Všechny sloupy jsou navrženy stejného průřezu a délky, proto pro posouzení je zde vybrán pouze ten, kde je největší normálová síla, tj. sloup S1. Ostatní sloupy potom také vyhoví.

#### 5.3.1.1 Návrh a posouzení sloupu S1

$$N_{b,Ed} = 1\,253\text{ kN}$$

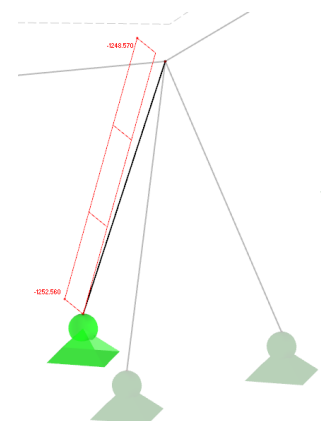
$$L = 5\,110\text{ mm}$$

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 5\,110 = 5\,110\text{ mm}$$

$$\text{Návrh: TR 219,1x12 S 355}$$

$$A = 7\,810\text{ mm}^2$$

$$i = 73,2\text{ mm}$$



$$\frac{d}{t} = \frac{219}{12} = 18,25 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \quad \rightarrow \text{TŘÍDA 1}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Posouzení:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{5\,110}{73,2} = 69,86$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{70,1}{93,9 \cdot 0,81} = 0,914 \quad \rightarrow \text{KŘIVKA c} \rightarrow \alpha = 0,49$$

V návrhu je uvažována trubka tvarovaná za studena.

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,49(0,917 - 0,2) + 0,917^2] = 1,093$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,097 + \sqrt{1,097^2 - 0,917^2}} = 0,59$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,59 \cdot 7\,810 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 1\,636 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{y,d} = 7\,810 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 2\,772 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = 1\,253 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 1\,636 \text{ kN}$$

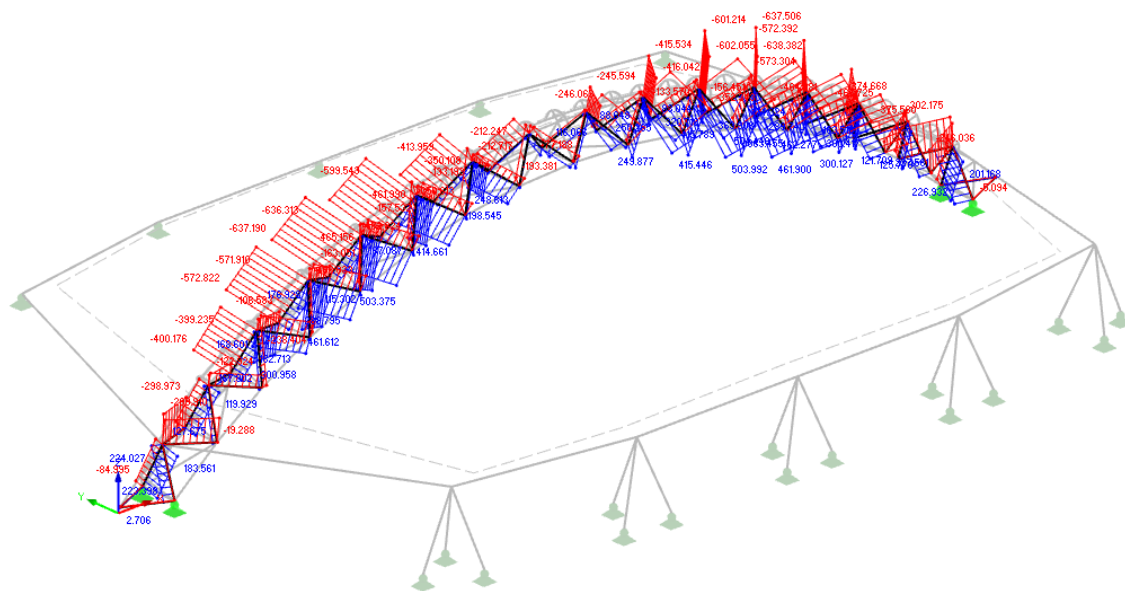
→ VYHOVUJE

$$\frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{1\,253}{1\,636} = 0,77 \leq 1,0$$

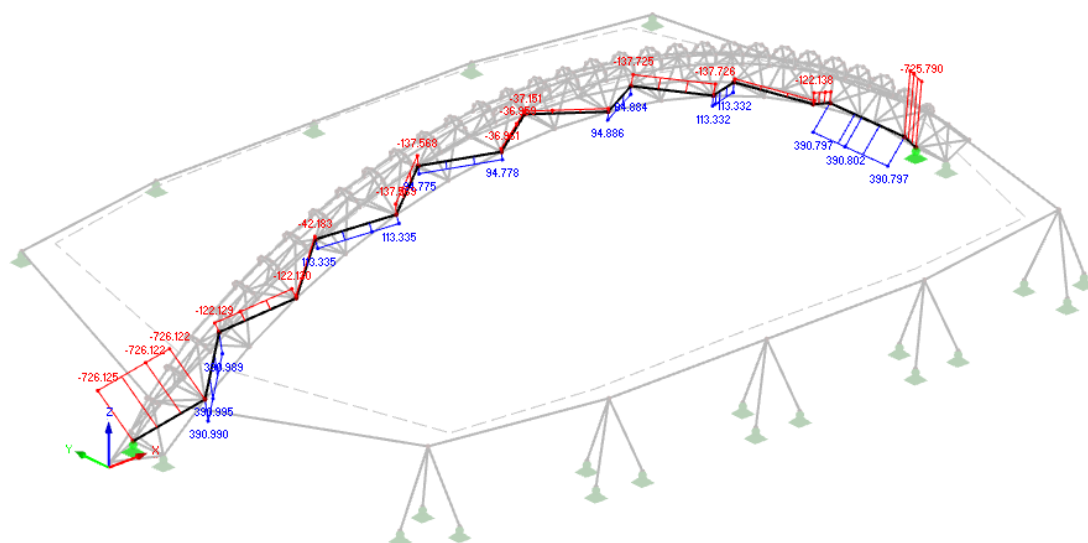
→ VYUŽITÍ NA 77%

→ NAVRŽENÁ TR 219,1x12 VYHOVUJE

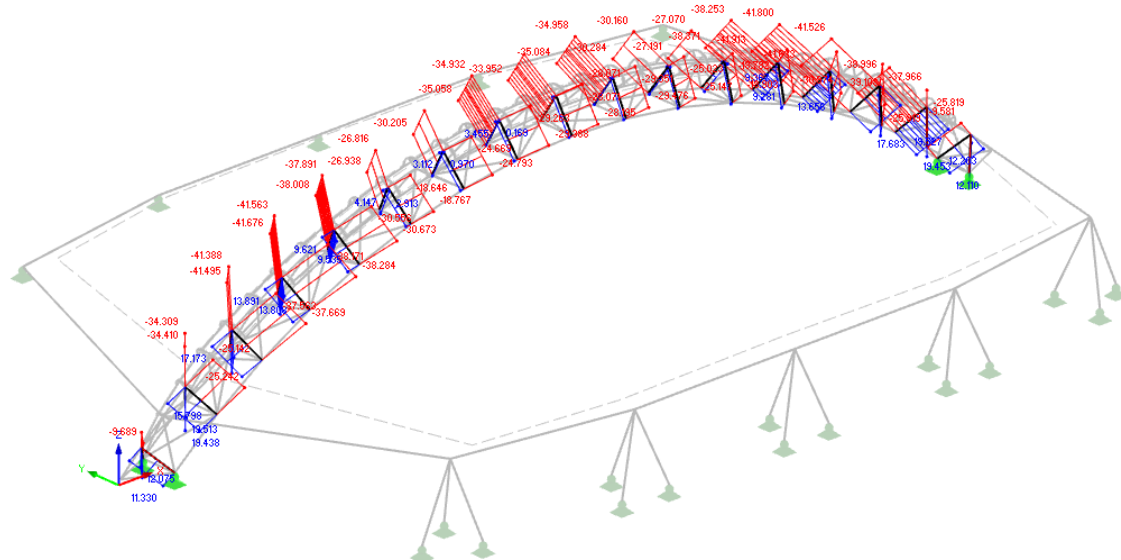
### 5.3.2 Návrh a posouzení obloukového vazníku



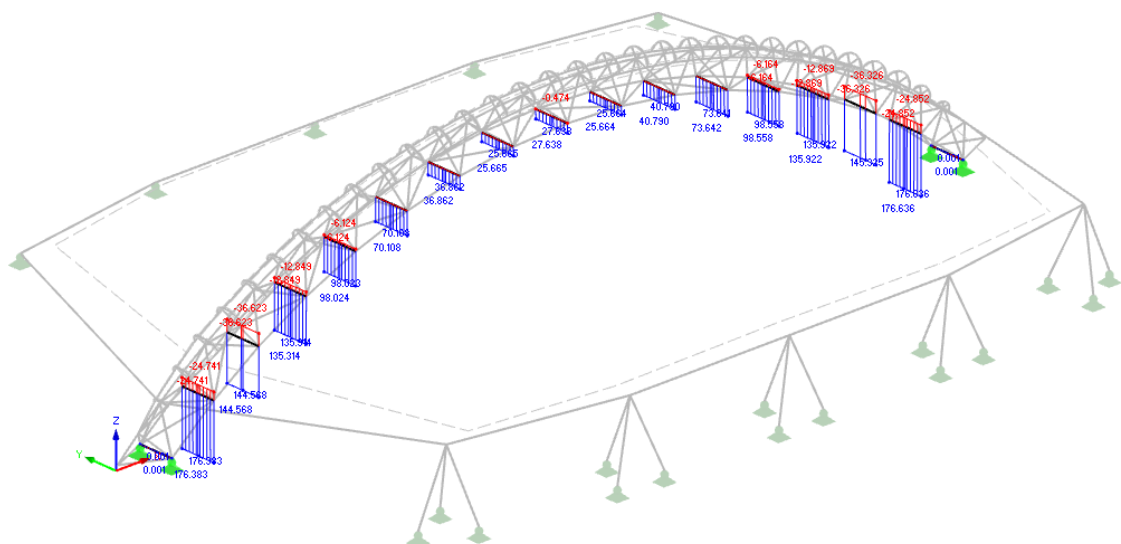
Obr. 29 Normálové síly na šikmých diagonálách



Obr. 30 Normálové síly na vodorovných diagonálách

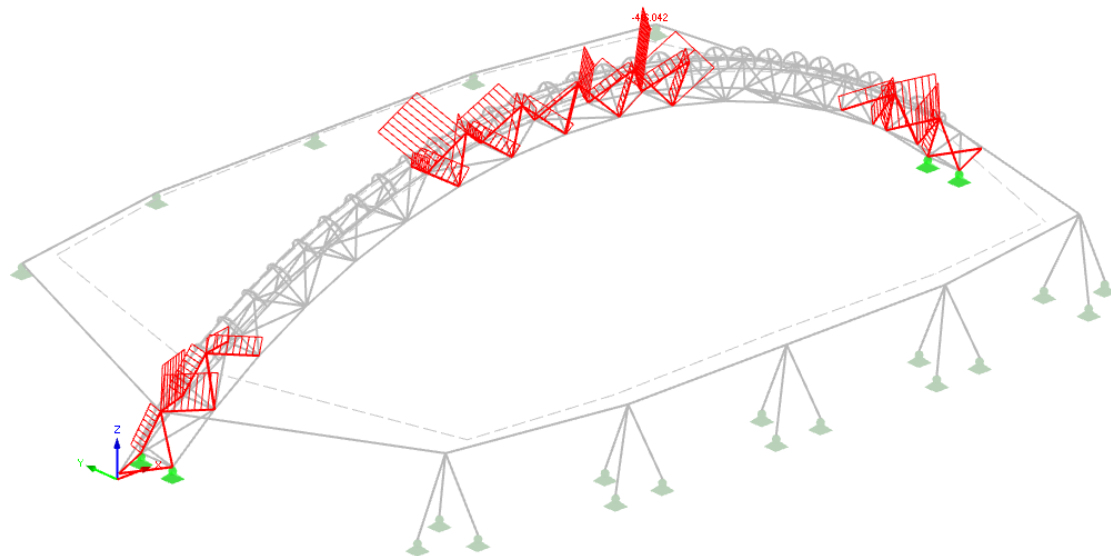


Obr. 31 Normálové síly na stojkách



Obr. 32 Normálové síly na vodorovných stojkách

### 5.3.2.1 Návrh a posouzení diagonál



Obr. 33 Normálové síly na šikmých diagonálách – krajní a střední části

$$N_{b,Ed} = 417 \text{ kN}$$

$$L = 3\,200 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 0,9 \cdot 3\,200 = 2\,880 \text{ mm}$$

Pro vevařené diagonály lze uvažovat  $\beta = 0,9$ , protože spoj je tužší než kloub-kloub.

Návrh: TR 168,3x4 S 355

$$A = 2\,070 \text{ mm}^2$$

$$i = 58,1 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{168,3}{4} = 42,1 < 70 \cdot \varepsilon^2 = 70 \cdot 0,81^2 = 45,9 \quad \rightarrow \text{TŘÍDA 2}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Posouzení:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{2\,880}{58,1} = 49,6$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{49,6}{93,9 \cdot 0,81} = 0,652 \quad \rightarrow \text{KŘIVKA c} \rightarrow \alpha = 0,49$$

V návrhu je uvažována trubka tvarovaná za studena.

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,49(0,652 - 0,2) + 0,652^2] = 0,823$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,823 + \sqrt{0,823^2 - 0,652^2}} = 0,75$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,75 \cdot 2\,070 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 551 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{y,d} = 2\,070 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 734 \text{ kN}$$

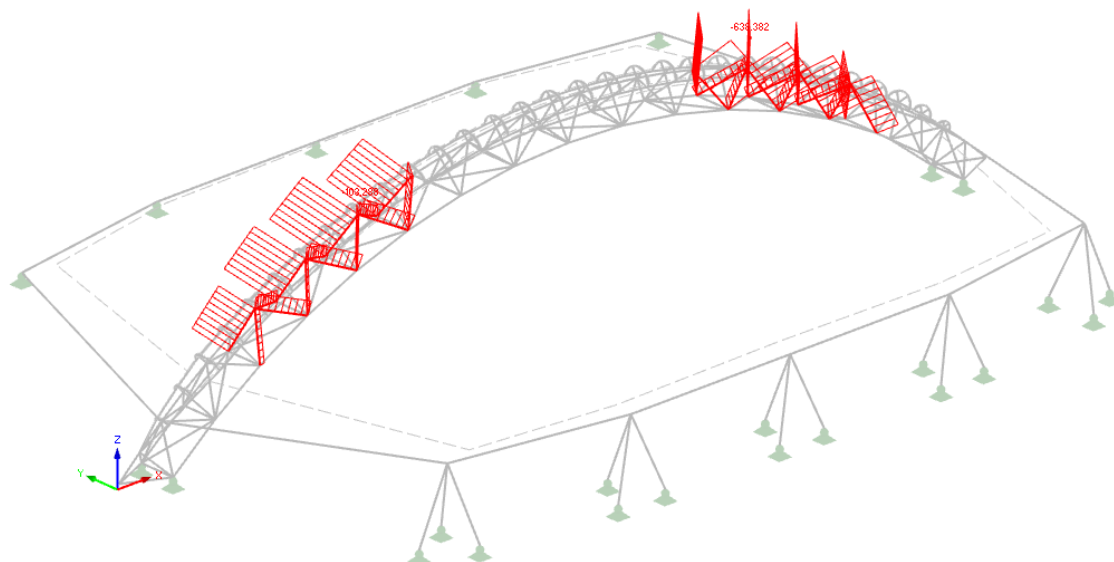
$$N_{b,Ed} = 417 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 551 \text{ kN}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{417}{551} = 0,76 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 76%

→ NAVRŽENÁ TR 168,3x4 VYHOVUJE



Obr. 34 Normálové síly na šikmých diagonálách – prostřední části

$$N_{b,Ed} = 639 \text{ kN}$$

$$L = 3\,200 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 0,9 \cdot 3\,200 = 2\,880 \text{ mm}$$

Pro vevařené diagonály lze uvažovat  $\beta = 0,9$ , protože spoj je tužší než kloub-kloub.

Návrh: TR 168,3x6,3 S 355

$$A = 3\,200 \text{ mm}^2$$

$$i = 57,3 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{168,3}{6,3} = 26,7 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8$$

→ TŘÍDA 1

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Posouzení:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{2\,880}{57,3} = 50,34$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{50,34}{93,9 \cdot 0,81} = 0,659$$

→ KŘIVKA c →  $\alpha = 0,49$

V návrhu je uvažována trubka tvarovaná za studena.

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,49(0,659 - 0,2) + 0,659^2] = 0,829$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,829 + \sqrt{0,829^2 - 0,659^2}} = 0,75$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,75 \cdot 3,200 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 852 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{y,d} = 3\,200 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 1\,136 \text{ kN}$$

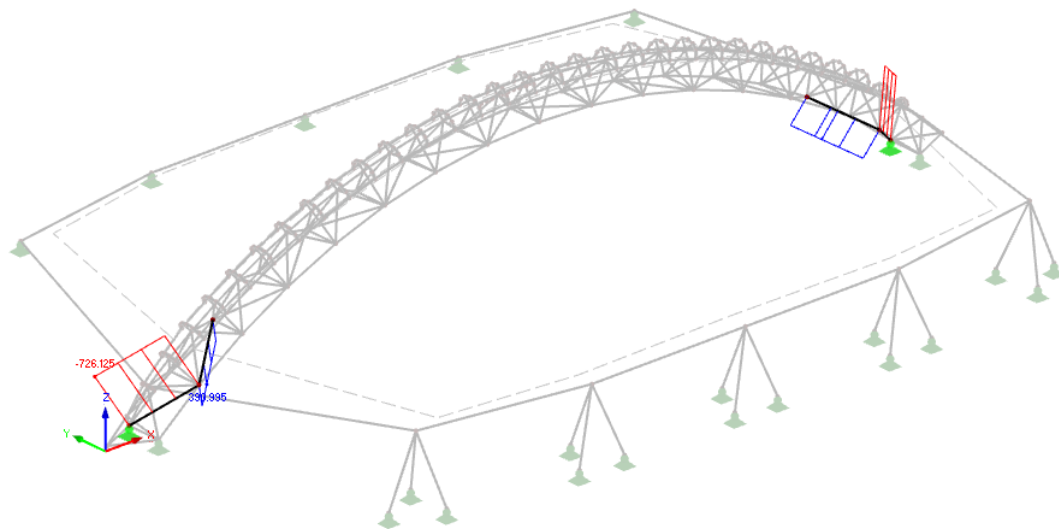
$$N_{b,Ed} = 639 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 852 \text{ kN}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{639}{852} = 0,75 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 75%

→ NAVRŽENÁ TR 168,3x6,3 VYHOVUJE



Obr. 35 Normálové síly na vodorovných diagonálách – krajní části

$$N_{b,Ed} = 727 \text{ kN}$$

$$L = 4\,850 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 0,9 \cdot 4\,850 = 4\,365 \text{ mm}$$

Pro vevařené diagonály lze uvažovat  $\beta = 0,9$ , protože spoj je tužší než kloub-kloub.

Návrh: TR 140x16 S 355

$$A = 6\,233 \text{ mm}^2$$

$$i = 44,2 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{140}{16} = 8,75 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8$$

→ TŘÍDA 1



$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Posouzení:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{4\,365}{44,2} = 99,75$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{99,75}{93,9 \cdot 0,81} = 1,393 \quad \rightarrow \text{KŘIVKA a} \rightarrow \alpha = 0,21$$

V návrhu je uvažována trubka tvarovaná za tepla.

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(1,393 - 0,2) + 1,393^2] = 1,661$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,661 + \sqrt{1,661^2 - 1,393^2}} = 0,40$$

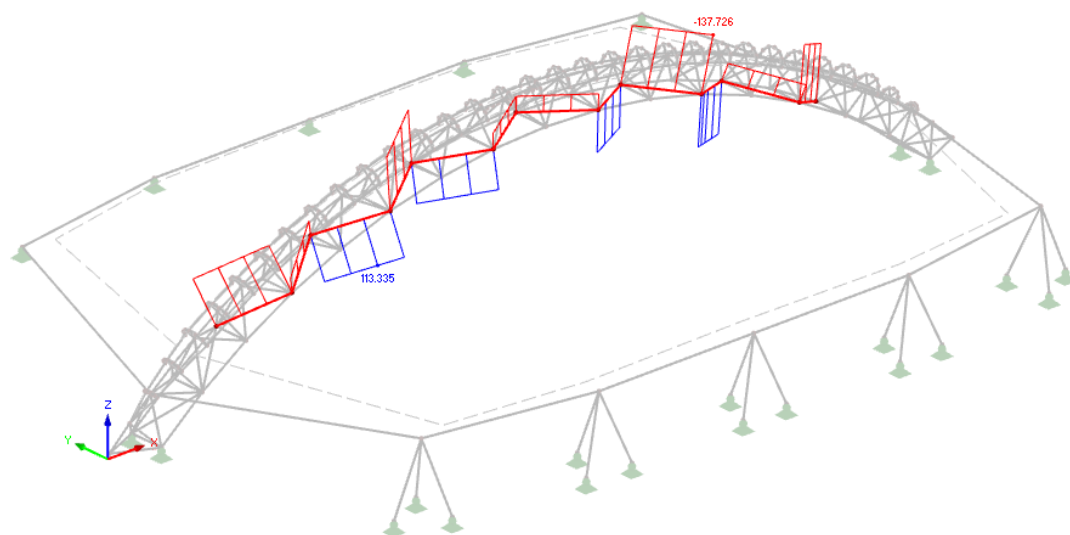
$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,40 \cdot 6\,233 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 887 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{y,d} = 6\,233 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 2\,213 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = 727 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 887 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{727}{887} = 0,82 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYUŽITÍ NA 82\%}$$

→ NAVRŽENÁ TR 140x16 VYHOVUJE



Obr. 36 Normálové síly na vodorovných diagonálách – prostřední část

$$N_{b,Ed} = 138 \text{ kN}$$

$$L = 4\,850 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 0,9 \cdot 4\,850 = 4\,365 \text{ mm}$$

Pro vevařené diagonály lze uvažovat  $\beta = 0,9$ , protože spoj je tužší než kloub-kloub.

Návrh: TR 139,7x5 S 355

$$A = 2\,120 \text{ mm}^2$$

$$i = 47,7 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{139,7}{5} = 28 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \quad \rightarrow \text{TŘÍDA 1}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Posouzení:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{4\,365}{47,7} = 95,39$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{95,39}{93,9 \cdot 0,81} = 1,296 \quad \rightarrow \text{KŘIVKA c} \rightarrow \alpha = 0,49$$

V návrhu je uvažována trubka tvarovaná za studena.

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,49(1,296 - 0,2) + 1,296^2] = 1,560$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,560 + \sqrt{1,560^2 - 1,296^2}} = 0,38$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,38 \cdot 2\,120 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 284 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{y,d} = 2\,120 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 753 \text{ kN}$$

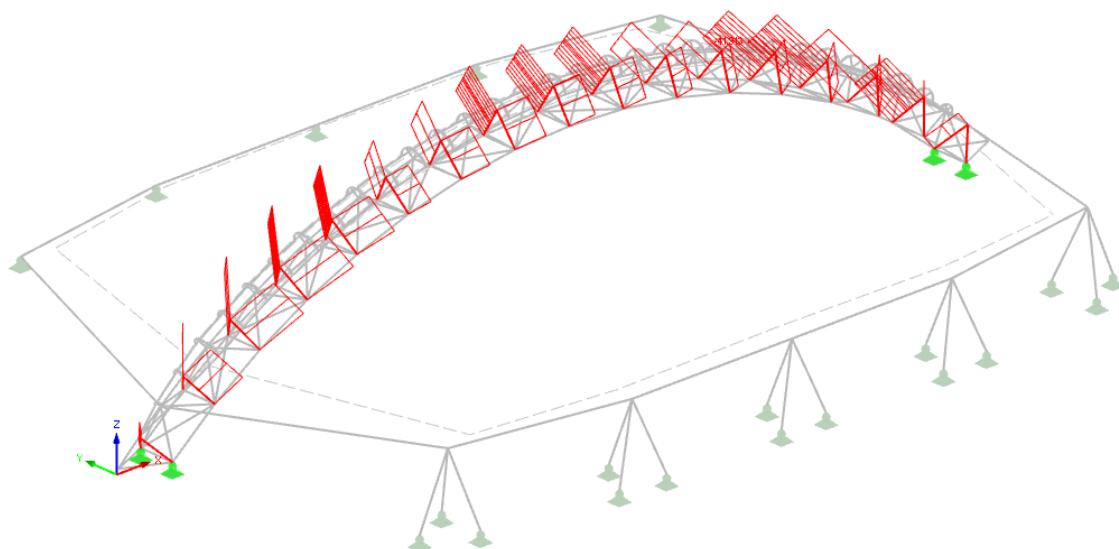
$$N_{b,Ed} = 138 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 284 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{138}{284} = 0,49 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYUŽITÍ NA 49\%}$$

$\rightarrow$  NAVRŽENÁ TR 139,7x5 VYHOVUJE

Tento průřez je zvolen z důvodu zachování vnějšího rozměru vodorovných diagonál. Tloušťka trubky 5 mm je navržena z konstrukčních důvodů a lepší svařitelnosti.

## 5.3.2.2 Návrh a posouzení stojek



Obr. 37 Normálové síly na stojkách

$$N_{b,Ed} = 42 \text{ kN}$$

$$L = 2\,400 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 0,9 \cdot 2\,400 = 2\,160 \text{ mm}$$

Pro vevařené diagonály lze uvažovat  $\beta = 0,9$ , protože spoj je tužší než kloub-kloub.

$$\text{Návrh:} \quad \text{TR 57x3,5} \quad \text{S 355}$$

$$A = 604 \text{ mm}^2$$

$$i = 18,9 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{57}{3,6} = 16,3 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \quad \rightarrow \text{TŘÍDA 1}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Posouzení:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{2\,160}{18,9} = 114,15$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{114,15}{93,9 \cdot 0,81} = 1,494 \quad \rightarrow \text{KŘIVKA c} \rightarrow \alpha = 0,49$$

V návrhu je uvažována trubka tvarovaná za studena.

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,49(1,494 - 0,2) + 1,494^2] = 1,933$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,933 + \sqrt{1,933^2 - 1,494^2}} = 0,32$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,32 \cdot 604 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 68 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{y,d} = 604 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 214,42 \text{ kN}$$

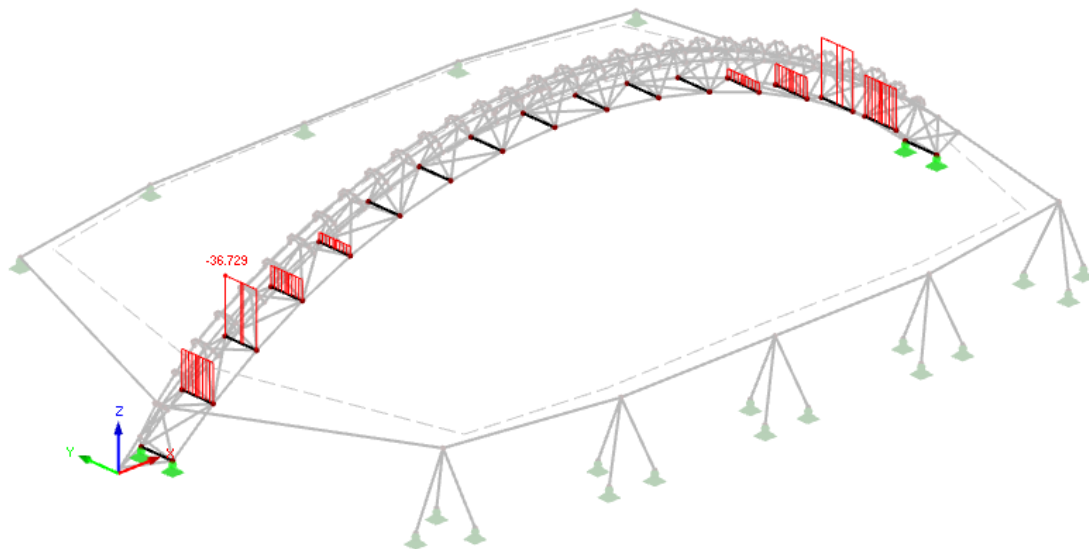
$$N_{b,Ed} = 42 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 68 \text{ kN}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{42}{68} = 0,62 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 62%

→ NAVRŽENÁ TR 57x3,5 VYHOVUJE



Obr. 38 Normálové síly na vodorovných stojkách

$$N_{b,Ed} = 36,8 \text{ kN}$$

$$L = 2\,600 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 0,9 \cdot 2\,600 = 2\,340 \text{ mm}$$

Pro vevařené diagonály lze uvažovat  $\beta = 0,9$ , protože spoj je tužší než kloub-kloub.

Návrh: TR 57x3,5 S 355

$$A = 604 \text{ mm}^2$$

$$i = 18,9 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{57}{3,6} = 16,3 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8$$

→ TŘÍDA 1

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Posouzení:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{2\,340}{18,9} = 123,66$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{123,66}{93,9 \cdot 0,81} = 1,619$$

→ KŘIVKA c →  $\alpha = 0,49$

V návrhu je uvažována trubka tvarovaná za studena.

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,49(1,619 - 0,2) + 1,619^2] = 2,158$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,158 + \sqrt{2,158^2 - 1,619^2}} = 0,28$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,28 \cdot 604 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 60 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{y,d} = 604 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 214,4 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = 36,6 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 60 \text{ kN}$$

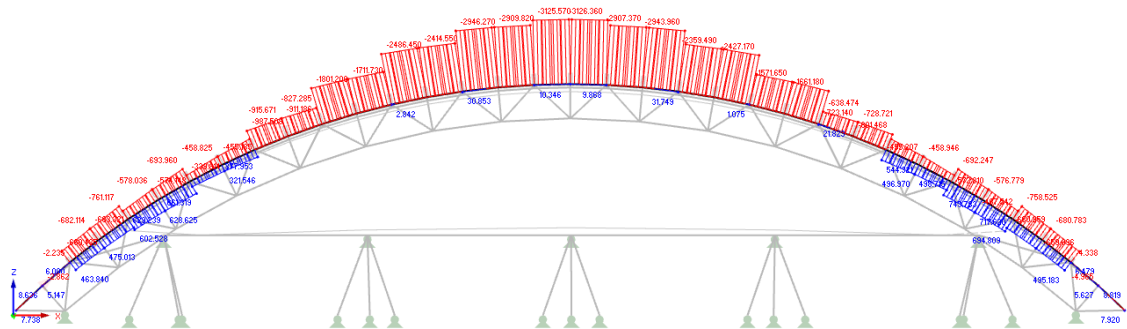
→ VYHOVUJE

$$\frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{36,6}{60} = 0,62 \leq 1,0$$

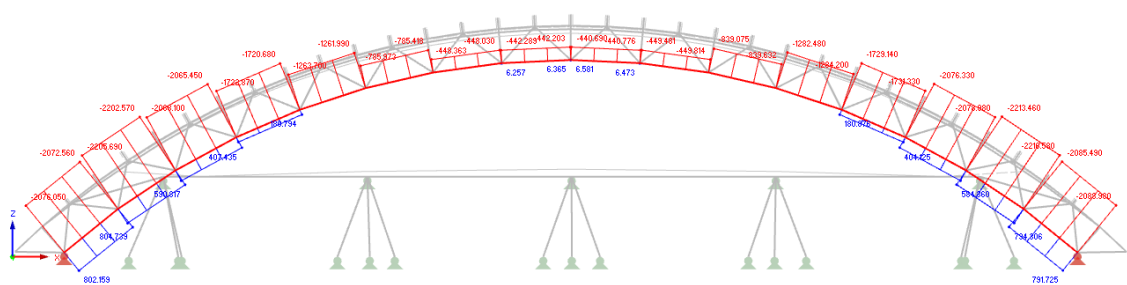
→ VYUŽITÍ NA 62%

→ NAVRŽENÁ TR 57x3,5 VYHOVUJE

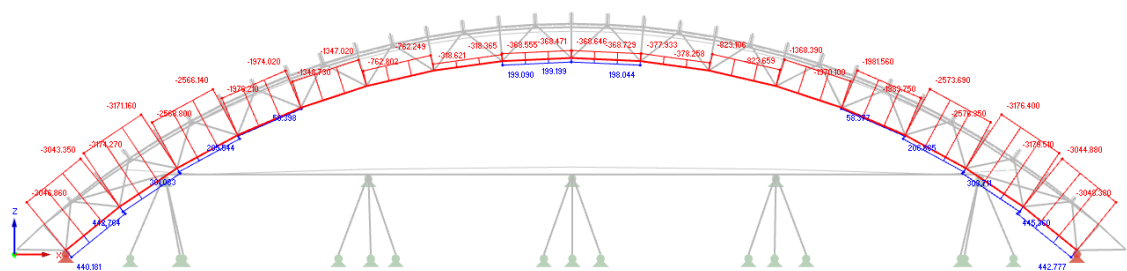
#### 5.4 Návrh a posouzení ocelových prvků na kombinaci tlaku a ohybu



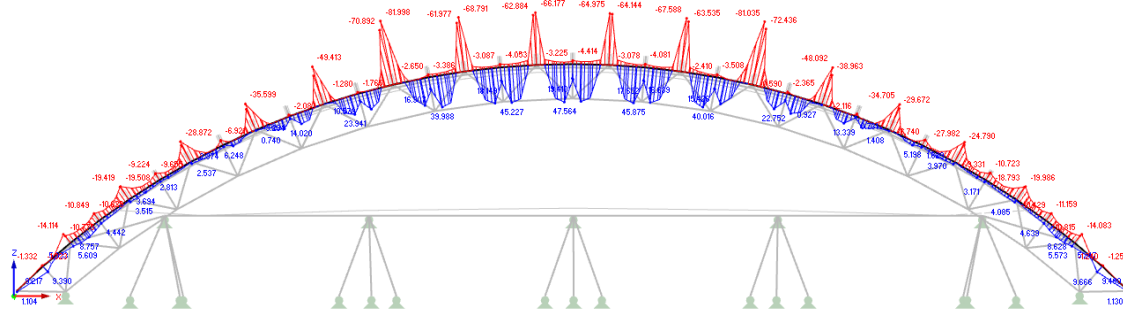
Obr. 39 Normálové síly na horním pásu



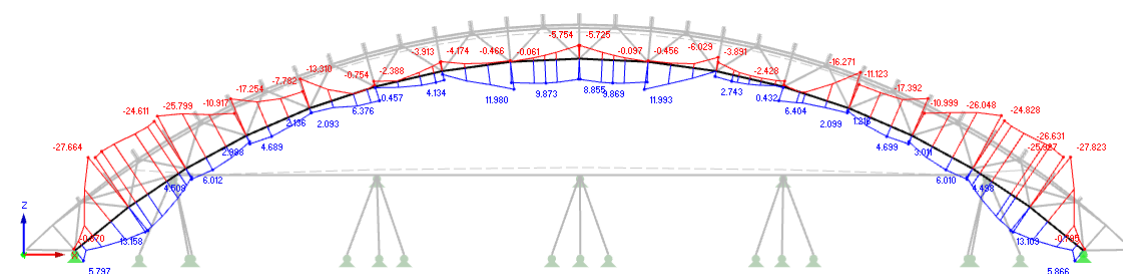
Obr. 40 Normálová síla na dolním pásu I



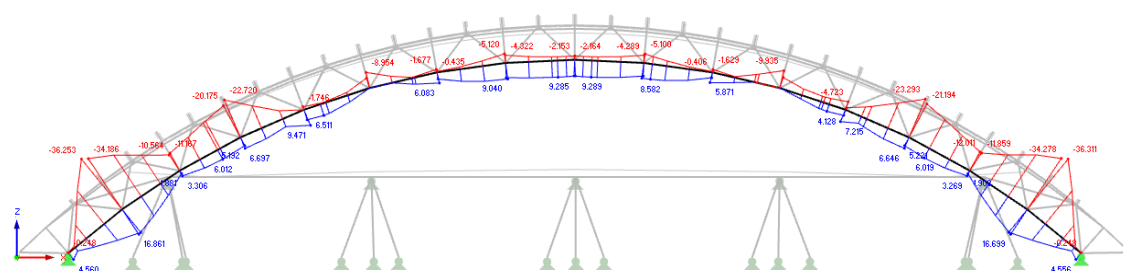
Obr. 41 Normálová síla na dolním pásu II



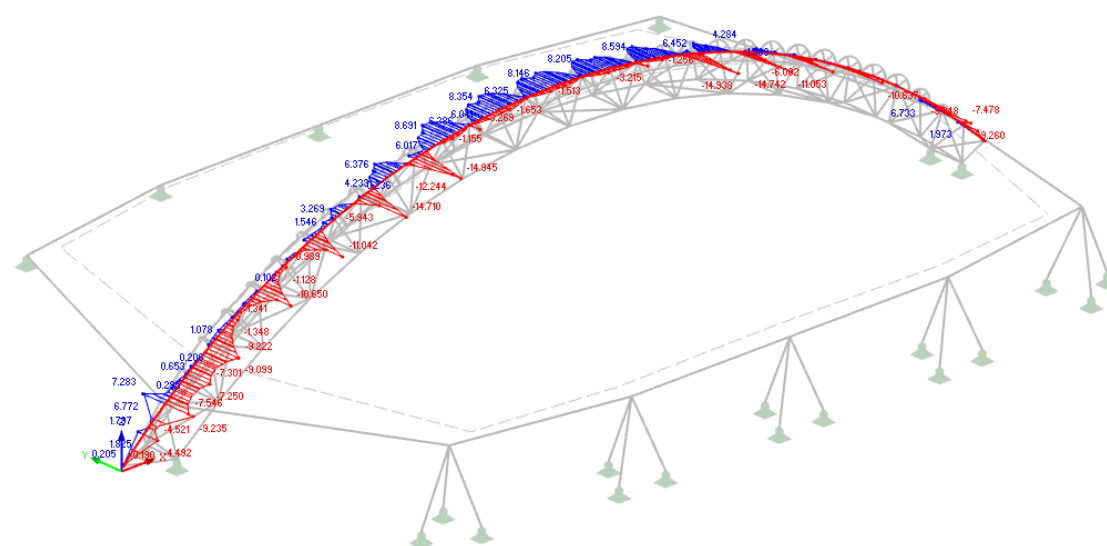
Obr. 42 Ohybový moment  $M_y$  na horním pásu



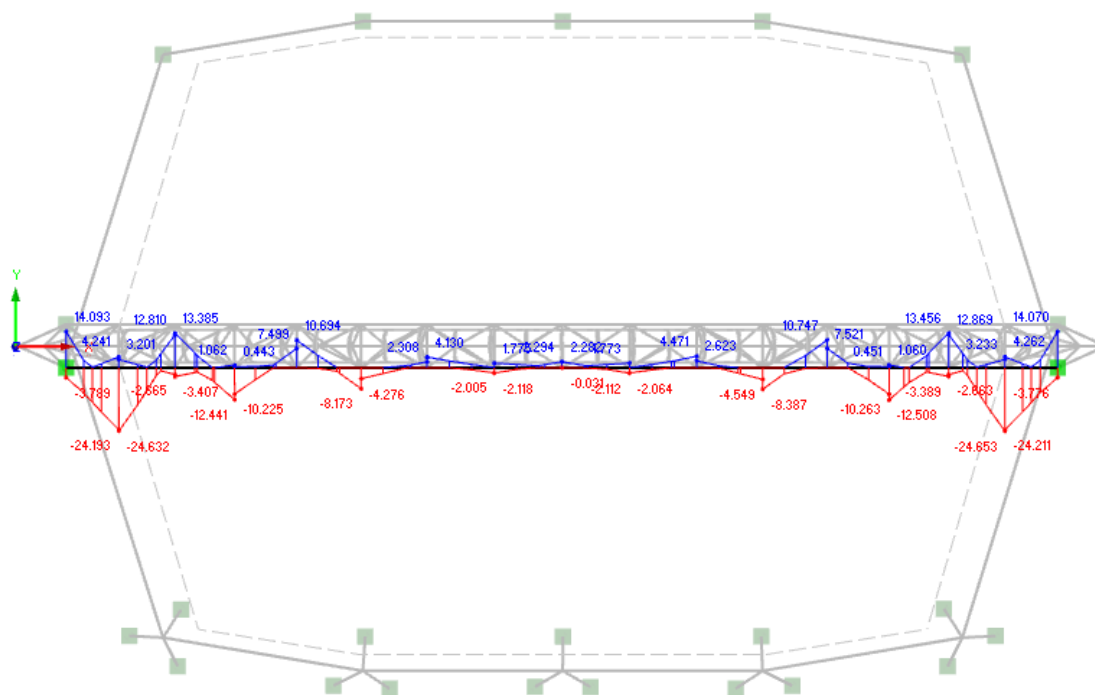
Obr. 43 Ohybový moment  $M_y$  na dolním pásu I



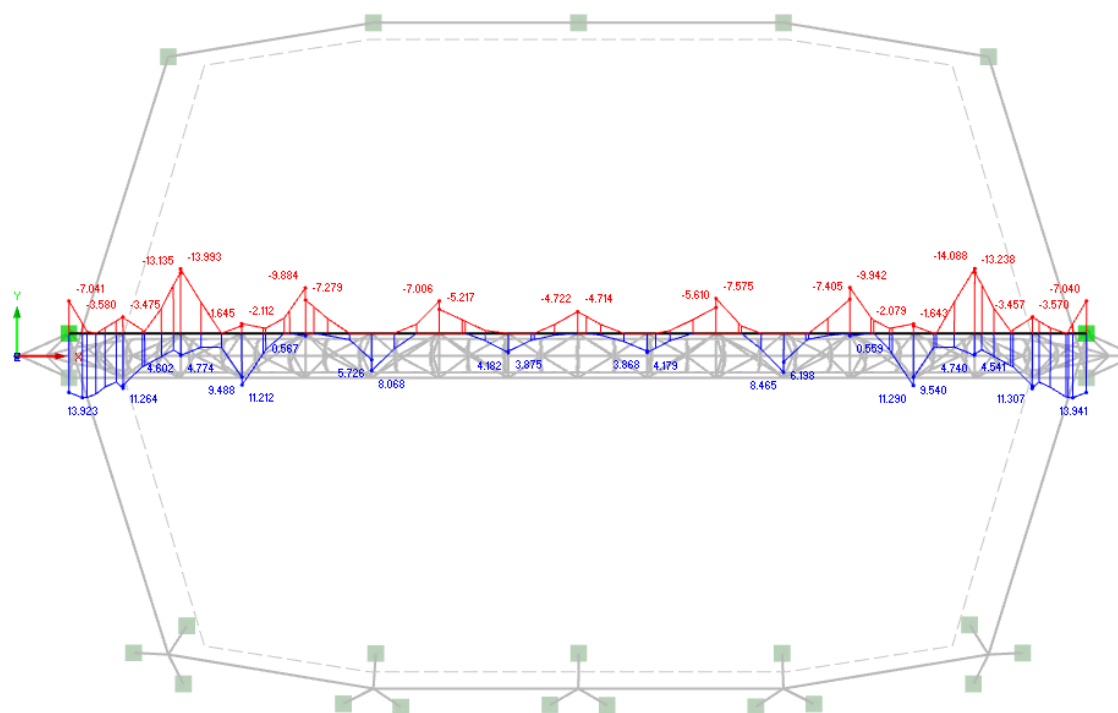
Obr. 44 Ohybový moment  $M_y$  na dolním pásu I



Obr. 45 Ohybový moment  $M_z$  na horním pásu

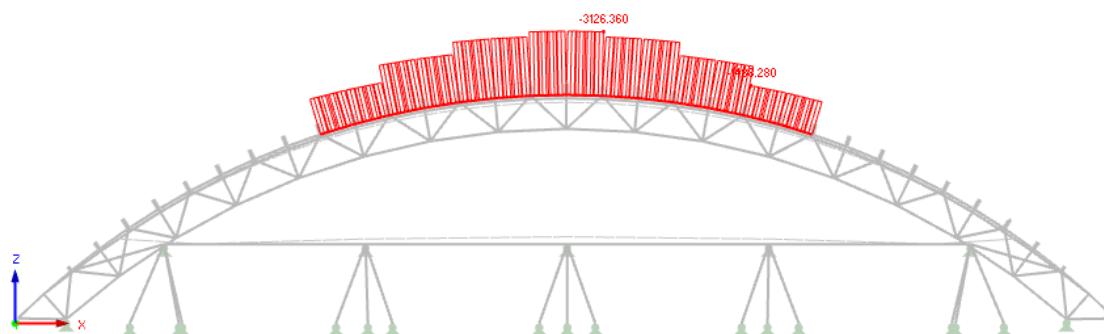


Obr. 46 Ohybový moment  $M_z$  na dolním pásu I

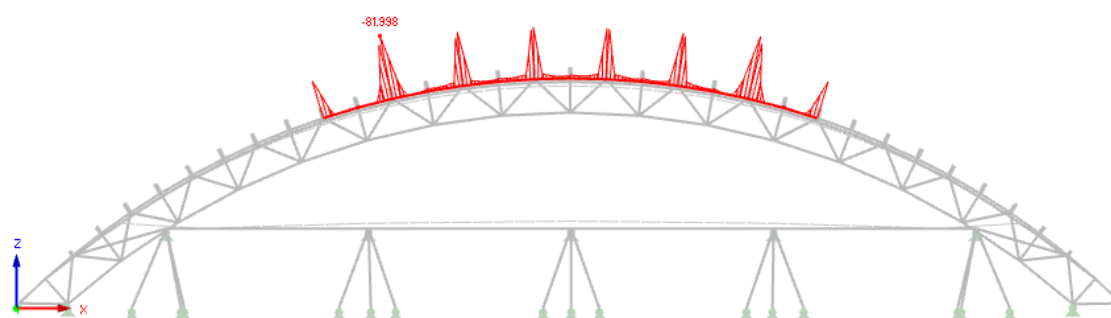


Obr. 47 Ohybový moment  $M_z$  na dolním pásu II

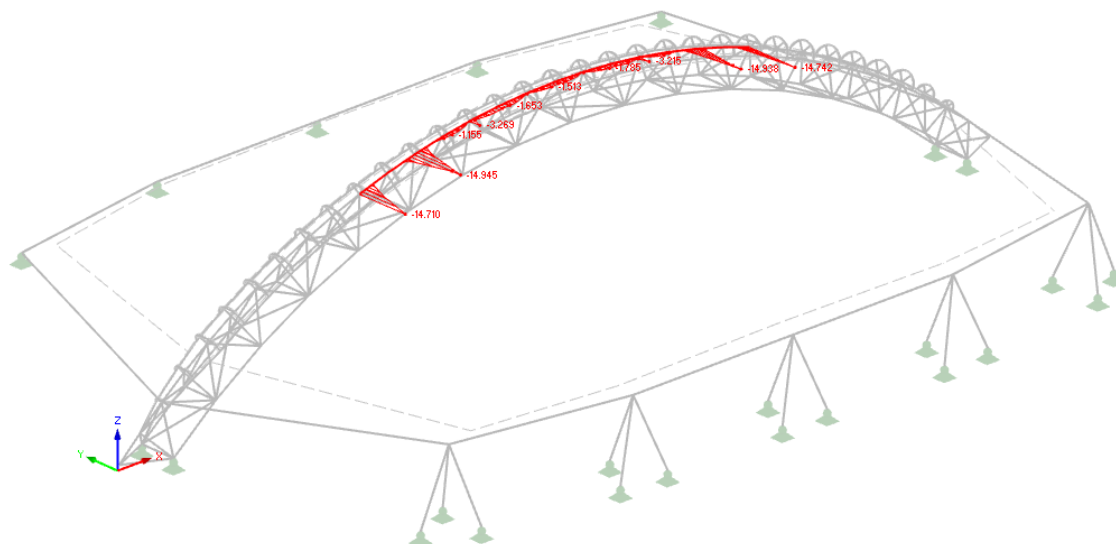
#### 5.4.1 Návrh a posouzení hlavního horního pásu – střední část



Obr. 48 Normálová síla na horním pásu – střední část



Obr. 49 Ohybový moment  $M_y$  na horním pásu – střední část



Obr. 50 Ohybový moment  $M_z$  na horním pásu – střední část

$$N_{b,Ed} = 3\,130\,kN$$

$$M_{y,Ed} = 82\,kNm$$

$$M_{z,Ed} = 15\,kNm$$

$$L = 2\,200\,mm$$

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 2\,200 = 2\,200\,mm$$



Návrh: TR 273x16 S 355

$$A = 12\,918 \text{ mm}^2$$

$$i = 91,0 \text{ mm}$$

$$W_{pl} = 1\,058,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\frac{d}{t} = \frac{273}{16} = 17,06 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \quad \rightarrow \text{TŘÍDA 1}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Posouzení na vzpěr:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{2\,200}{91,0} = 24,17$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{24,17}{93,9 \cdot 0,81} = 0,316 \quad \rightarrow \text{KŘIVKA a} \rightarrow \alpha = 0,21$$

V návrhu je uvažována trubka tvarovaná za tepla.

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,316 - 0,2) + 0,316^2] = 0,562$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,562 + \sqrt{0,562^2 - 0,316^2}} = 0,97$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,97 \cdot 12\,918 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 4\,465 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{y,d} = 12\,918 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 4\,585 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = 3\,130 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 4\,465 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{3\,130}{4\,465} = 0,70 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYUŽITÍ NA 70\%}$$

Posouzení na ohyb:

$$M_{Rd} = W_{pl} \cdot f_y = 1\,058,1 \cdot 10^3 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 375,6 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 82 \text{ kNm} < M_{Rd} = 375 \text{ kNm} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd}} = \frac{82}{375} = 0,22 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYUŽITÍ NA 22\%}$$

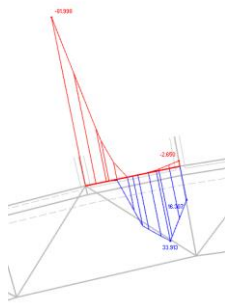
$$M_{z,Ed} = 15 \text{ kNm} < M_{Rd} = 375 \text{ kNm} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd}} = \frac{15}{375} = 0,04 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYUŽITÍ NA 4\%}$$

Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 12\,918 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 4\,585 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$



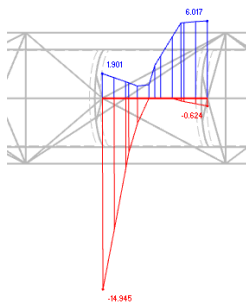
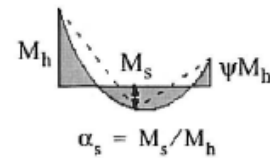
$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{34}{-82} = -0,41$$

$$\psi = \frac{17}{-82} = -0,21$$

$$C_{my} = 0,1(1 - \psi) - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,1(1 - (-0,21)) - 0,8 \cdot (-0,41) \geq 0,4$$

$$C_{my} = \mathbf{0,45} \geq 0,4$$



$$\psi = \frac{6}{-15} = -0,4$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,4) \geq 0,4$$

$$C_{mz} = -0,10 \geq \mathbf{0,4} \rightarrow \text{DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI VĚTŠÍ HODNOTU}$$



$$k_{yy} = c_{my} (1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}) \leq c_{my} (1 - 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}})$$

$$k_{yy} = 0,45 (1 + (0,316 - 0,2) \cdot \frac{3\,130}{\frac{0,97 \cdot 4\,585}{1,00}}) \leq 0,45 (1 - 0,8 \cdot \frac{3\,130}{\frac{0,97 \cdot 4\,585}{1,00}})$$

$$k_{yy} = 0,487 \leq \mathbf{0,197} \rightarrow \text{DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI MENŠÍ HODNOTU}$$

$$k_{zz} = c_{mz} (1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}) \leq c_{mz} (1 - 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}})$$

$$k_{zz} = 0,4 (1 + (0,316 - 0,2) \cdot \frac{3\,130}{\frac{0,97 \cdot 4\,585}{1,00}}) \leq 0,4 (1 - 0,8 \cdot \frac{3\,130}{\frac{0,97 \cdot 4\,585}{1,00}})$$

$$k_{zz} = 0,433 \leq \mathbf{0,175} \rightarrow \text{DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI MENŠÍ HODNOTU}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot 0,197 = \mathbf{0,118}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,175 = \mathbf{0,105}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{3\,130}{\frac{0,97 \cdot 4\,585}{1,00}} + 0,197 \frac{82 + 0}{\frac{1,00 \cdot 375}{1,00}} + 0,105 \frac{15 + 0}{\frac{375}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,751 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

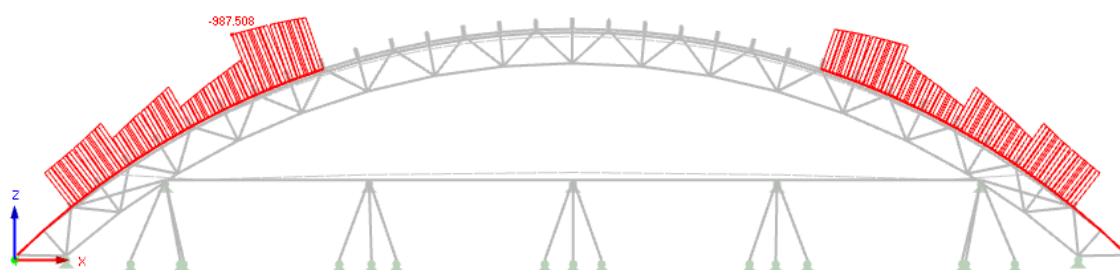
$$\frac{3\,130}{\frac{0,97 \cdot 4\,585}{1,00}} + 0,118 \frac{82 + 0}{\frac{1,00 \cdot 375}{1,00}} + 0,175 \frac{15 + 0}{\frac{375}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,737 \leq 1,0$$

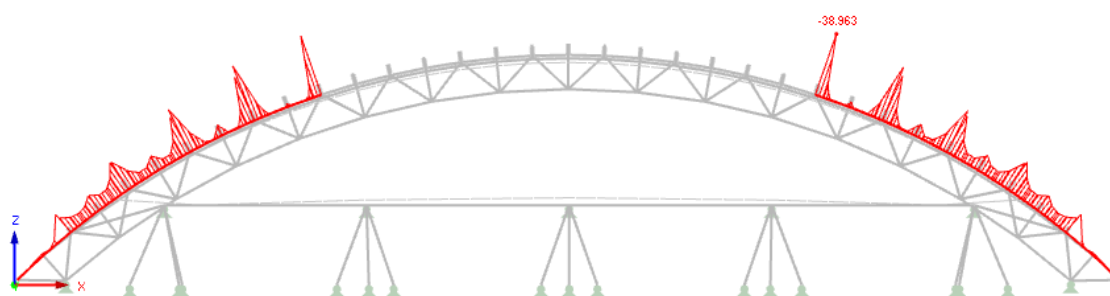
→ VYHOVUJE

→ NAVRŽENÁ TR 273x16 VYHOVUJE

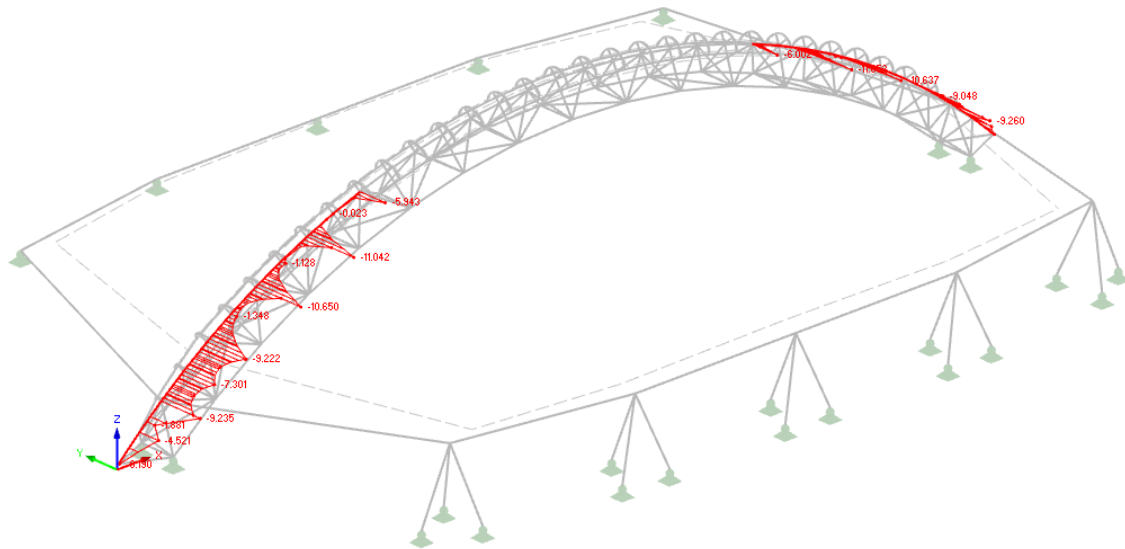
#### 5.4.2 Návrh a posouzení hlavního horního pásu – krajní části



Obr. 51 Normálová síla na horním pásu – krajní části



Obr. 52 Ohybový moment  $M_y$  na horním pásu – krajní části



Obr. 53 Ohybový moment  $M_z$  na horním pásu – krajní části

$$N_{b,Ed} = 988 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 39 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 12 \text{ kNm}$$

$$L = 2\,200 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 2\,200 = 2\,200 \text{ mm}$$

$$\text{Návrh:} \quad \text{TR 273x7} \quad \text{S 355}$$

$$A = 5\,850 \text{ mm}^2$$

$$i = 94 \text{ mm}$$

$$W_{pl} = 495,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\frac{d}{t} = \frac{273}{7} = 39 < 70 \cdot \varepsilon^2 = 70 \cdot 0,81^2 = 45,9 \quad \rightarrow \text{TŘÍDA 2}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Posouzení:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{2\,200}{94} = 23,38$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{23,38}{93,9 \cdot 0,81} = 0,306 \quad \rightarrow \text{KŘIVKA a} \rightarrow \alpha = 0,21$$

V návrhu je uvažována trubka tvarovaná za tepla.

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,306 - 0,2) + 0,306^2] = 0,558$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,558 + \sqrt{0,558^2 - 0,306^2}} = 0,98$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,98 \cdot 5\,850 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 2\,027 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{y,d} = 5\,850 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 2\,076 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = 988 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 2\,027 \text{ kN}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{988}{2\,027} = 0,49 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 49%

Posouzení na ohyb:

$$M_{Rd} = W_{pl} \cdot f_y = 495,4 \cdot 10^3 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 175,9 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 39 \text{ kNm} < M_{Rd} = 175,9 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd}} = \frac{39}{175,9} = 0,22 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 22%

$$M_{z,Ed} = 12 \text{ kNm} < M_{Rd} = 175,9 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

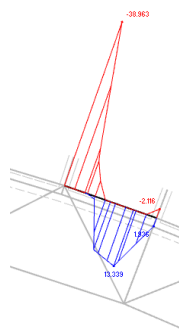
$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd}} = \frac{12}{175,9} = 0,07 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 7%

Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 5\,850 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 2\,076 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$



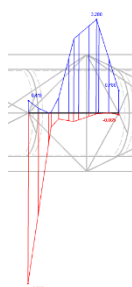
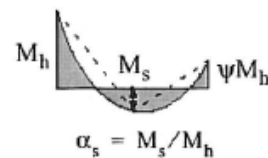
$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{14}{-39} = -0,36$$

$$\psi = \frac{-3}{-39} = 0,08$$

$$C_{my} = 0,1(1 - \psi) - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,1(1 - (-0,36)) - 0,8 \cdot 0,08 \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,072 \geq 0,4 \quad \rightarrow \text{DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI VĚTŠÍ HODNOTU}$$



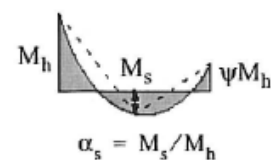
$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{4}{-6} = -0,67$$

$$\psi = \frac{-1}{-6} = 0,17$$

$$C_{my} = 0,1(1 - \psi) - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,1(1 - 0,17) - 0,8 \cdot (-0,67) \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,619 \geq 0,4 \quad \rightarrow \text{DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI VĚTŠÍ HODNOTU}$$



$$k_{yy} = c_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \leq c_{my} \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,4 \left( 1 + (0,306 - 0,2) \cdot \frac{988}{\frac{0,98 \cdot 2 \cdot 076}{1,00}} \right) \leq 0,4 \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{988}{\frac{0,98 \cdot 2 \cdot 076}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,421 \leq \mathbf{0,245} \quad \rightarrow \text{DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI MENŠÍ HODNOTU}$$

$$k_{zz} = c_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,619 \left( 1 + (0,306 - 0,2) \cdot \frac{988}{\frac{0,98 \cdot 2 \cdot 076}{1,00}} \right) \leq 0,619 \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{988}{\frac{0,98 \cdot 2 \cdot 076}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,651 \leq \mathbf{0,379} \quad \rightarrow \text{DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI MENŠÍ HODNOTU}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot 0,245 = \mathbf{0,147}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,379 = \mathbf{0,228}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq \mathbf{1,0}$$

$$\frac{988}{\frac{0,98 \cdot 2 \cdot 076}{1,00}} + 0,245 \frac{39 + 0}{\frac{1,00 \cdot 176}{1,00}} + 0,228 \frac{12 + 0}{\frac{176}{1,00}} \leq \mathbf{1,0}$$

$$\mathbf{0,555} \leq \mathbf{1,0} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq \mathbf{1,0}$$

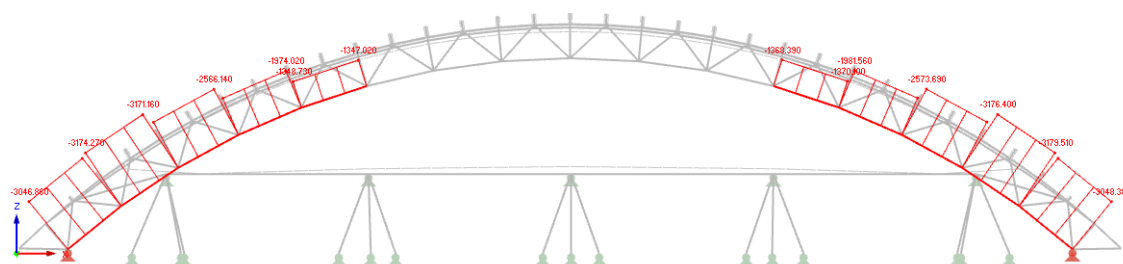
$$\frac{988}{\frac{0,98 \cdot 2 \cdot 076}{1,00}} + 0,147 \frac{39 + 0}{\frac{1,00 \cdot 176}{1,00}} + 0,379 \frac{12 + 0}{\frac{176}{1,00}} \leq \mathbf{1,0}$$

$$\mathbf{0,544} \leq \mathbf{1,0} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

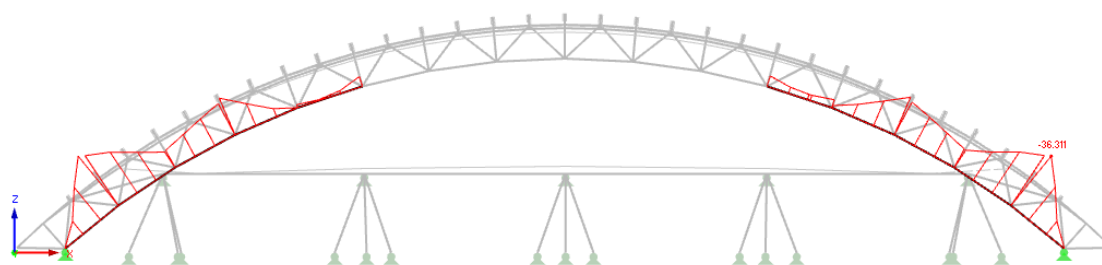
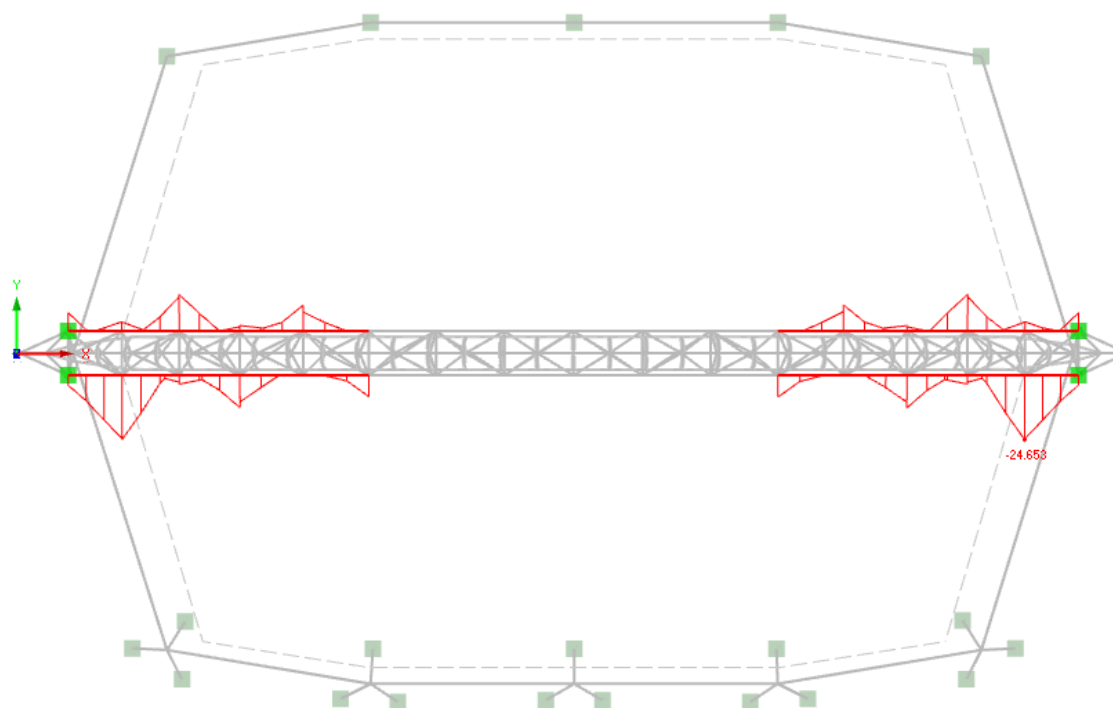
$\rightarrow$  NAVRŽENÁ TR 273x7 VYHOVUJE

---

## 5.4.3 Návrh a posouzení hlavních spodních pásů – krajní část



Obr. 54 Normálová síla na spodních pásech – krajní části


 Obr. 55 Ohybový moment  $M_y$  na dolních pásech – krajní části

 Obr. 56 Ohybový moment  $M_z$  na dolních pásech – krajní části

$$N_{b,Ed} = 3\,180\text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 37\text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 25\text{ kNm}$$

$$L = 4\,070\text{ mm}$$

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 4\,070 = 4\,070 \text{ mm}$$

Návrh: TR 273x16 S 355

$$A = 12\,918 \text{ mm}^2$$

$$i = 91,0 \text{ mm}$$

$$W_{pl} = 1\,058,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\frac{d}{t} = \frac{273}{16} = 17,06 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \quad \rightarrow \text{TŘÍDA 1}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Posouzení:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{4\,070}{91,0} = 44,71$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{44,71}{93,9 \cdot 0,81} = 0,585 \quad \rightarrow \text{KŘIVKA a} \rightarrow \alpha = 0,21$$

V návrhu je uvažována trubka tvarovaná za tepla.

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,585 - 0,2) + 0,585^2] = 0,712$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,712 + \sqrt{0,712^2 - 0,585^2}} = 0,90$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,90 \cdot 12\,918 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 4\,107 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{y,d} = 12\,918 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 4\,585 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = 3\,180 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 4\,107 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{3\,180}{4\,107} = 0,77 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYUŽITÍ NA 77\%}$$

Posouzení na ohyb:

$$M_{Rd} = W_{pl} \cdot f_y = 1\,058,1 \cdot 10^3 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 375 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 37 \text{ kNm} < M_{Rd} = 375 \text{ kNm} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd}} = \frac{37}{375} = 0,09 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYUŽITÍ NA 9\%}$$

$$M_{z,Ed} = 25 \text{ kNm} < M_{Rd} = 375 \text{ kNm} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

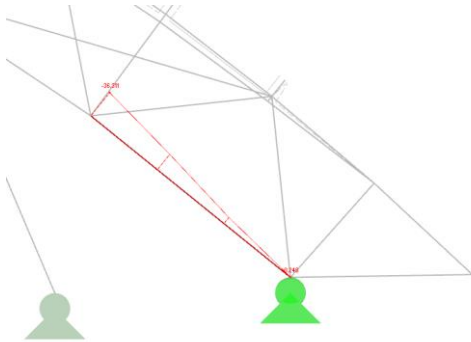
$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd}} = \frac{25}{375} = 0,06 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYUŽITÍ NA 6\%}$$

Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 12\,918 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 4\,585 \text{ kN}$$



$$\gamma_{M1} = 1,00$$

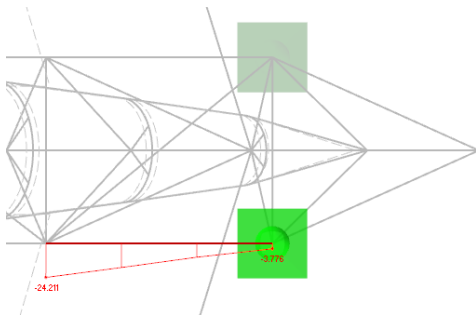


$$\psi = 0$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot 0 \geq 0,4$$

$$C_{my} = \mathbf{0,6} \geq 0,4$$



$$\psi = \frac{-4}{-25} = 0,16$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot 0,16 \geq 0,4$$

$$C_{mz} = \mathbf{0,664} \geq 0,4$$



$$k_{yy} = c_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,6 \left( 1 + (0,585 - 0,2) \cdot \frac{3\,180}{\frac{0,90 \cdot 4\,585}{1,00}} \right) \leq 0,6 \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{3\,180}{\frac{0,90 \cdot 4\,585}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,778 \leq \mathbf{0,230} \quad \rightarrow \text{DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI MENŠÍ HODNOTU}$$

$$k_{zz} = c_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,664 \left( 1 + (0,585 - 0,2) \cdot \frac{3\,180}{\frac{0,90 \cdot 4\,585}{1,00}} \right) \leq 0,664 \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{3\,180}{\frac{0,90 \cdot 4\,585}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,861 \leq \mathbf{0,255} \quad \rightarrow \text{DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI MENŠÍ HODNOTU}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot 0,230 = \mathbf{0,138}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,255 = \mathbf{0,153}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{3\,180}{\frac{0,90 \cdot 4\,585}{1,00}} + 0,230 \frac{37 + 0}{\frac{1,00 \cdot 375}{1,00}} + 0,153 \frac{25 + 0}{\frac{375}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,804 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

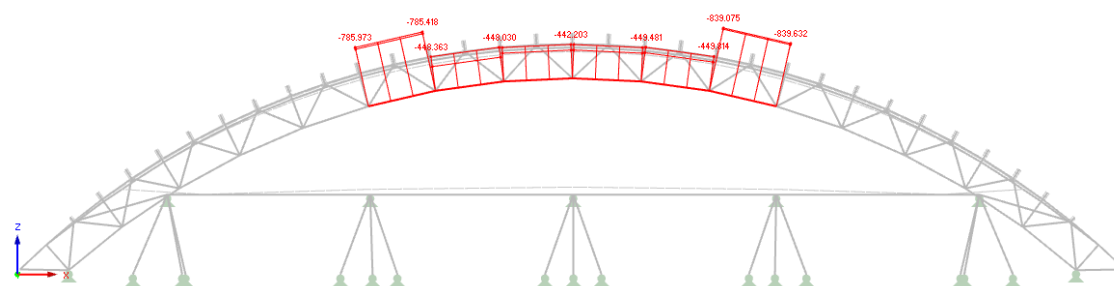
$$\frac{3\,180}{\frac{0,90 \cdot 4\,585}{1,00}} + 0,138 \frac{37 + 0}{\frac{1,00 \cdot 375}{1,00}} + 0,255 \frac{25 + 0}{\frac{375}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,801 \leq 1,0$$

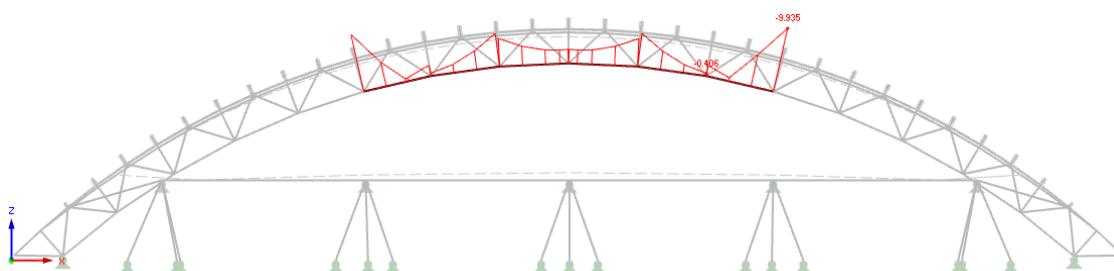
→ VYHOVUJE

→ NAVRŽENÁ TR 273x16 VYHOVUJE

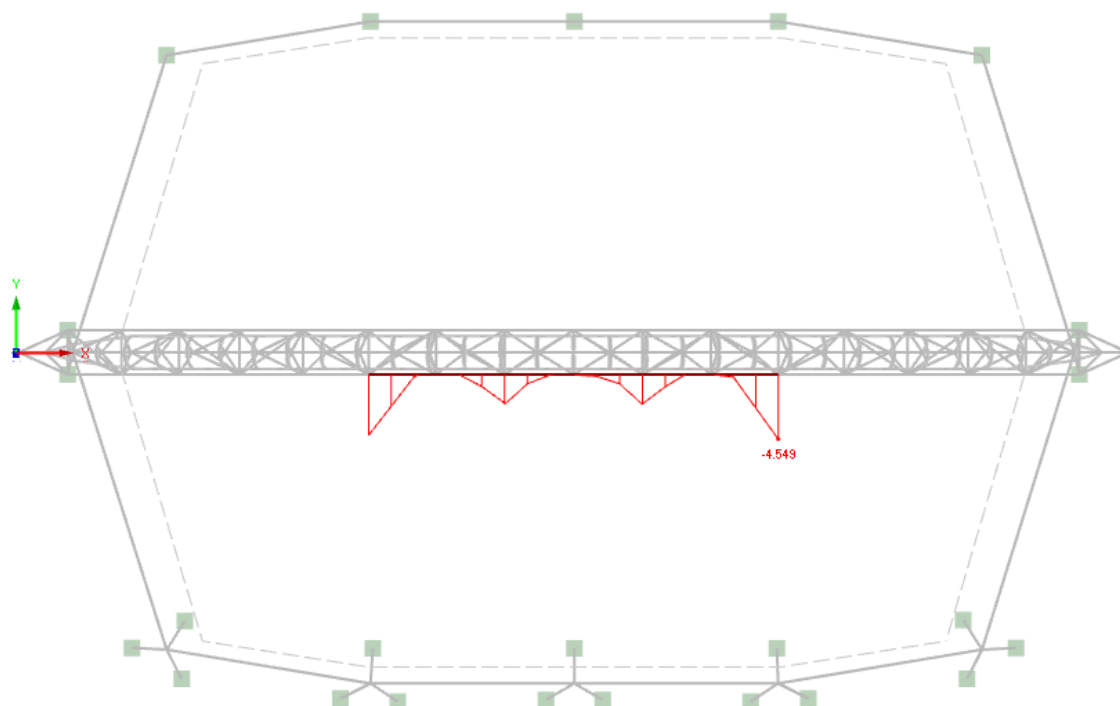
#### 5.4.4 Návrh a posouzení hlavních spodních pásů – střední část



Obr. 57 Normálová síla na dolních pásech – střední část



Obr. 58 Ohybový moment  $M_y$  na dolních pásech – střední část


 Obr. 59 Ohybový moment  $M_z$  na dolních pásech – střední část

$$N_{b,Ed} = 824 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 10 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 5 \text{ kNm}$$

$$L = 4\,070 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 4\,070 = 4\,070 \text{ mm}$$

$$\text{Návrh:} \quad \text{TR 273x7} \quad \text{S 355}$$

$$A = 5\,850 \text{ mm}^2$$

$$i = 94 \text{ mm}$$

$$W_{pl} = 495,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\frac{d}{t} = \frac{273}{7} = 39 < 70 \cdot \varepsilon^2 = 70 \cdot 0,81^2 = 45,9 \quad \rightarrow \text{TŘÍDA 2}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Posouzení:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{4\,070}{94} = 43,30$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{43,30}{93,9 \cdot 0,81} = 0,566 \quad \rightarrow \text{KŘIVKA a} \rightarrow \alpha = 0,21$$

V návrhu je uvažována trubka tvarovaná za tepla.

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,566 - 0,2) + 0,566^2] = 0,699$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,699 + \sqrt{0,699^2 - 0,566^2}} = 0,90$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,90 \cdot 5\,850 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 1\,874 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{y,d} = 5\,850 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 2\,076 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = 824 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 1\,874 \text{ kN}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{824}{1\,874} = 0,44 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 44%

Posouzení na ohyb:

$$M_{Rd} = W_{pl} \cdot f_y = 495,1 \cdot 10^3 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 175 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 10 \text{ kNm} < M_{Rd} = 175 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd}} = \frac{10}{175} = 0,06 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 6%

$$M_{z,Ed} = 5 \text{ kNm} < M_{Rd} = 175 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

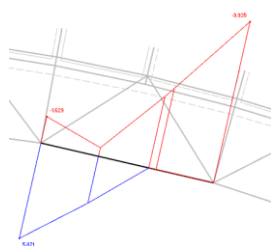
$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd}} = \frac{5}{175} = 0,03 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 3%

Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 5\,850 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 2\,076 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$



$$\psi = \frac{6}{-10} = -0,6$$

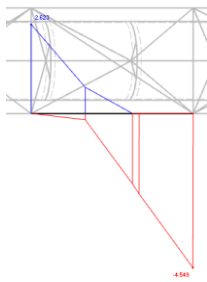
$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,6) \geq 0,4$$

$$C_{my} = -0,36 \geq 0,4$$

→ DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI  
VĚTŠÍ HODNOTU





$$\psi = \frac{3}{-5} = -0,6$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,6) \geq 0,4$$

$$C_{mz} = -0,36 \geq 0,4$$

→ DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI VĚTŠÍ HODNOTU



$$k_{yy} = c_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \leq c_{my} \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,4 \left( 1 + (0,566 - 0,2) \cdot \frac{824}{\frac{0,90 \cdot 2 \cdot 076}{1,00}} \right) \leq 0,4 \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{824}{\frac{0,90 \cdot 2 \cdot 076}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,465 \leq 0,259$$

→ DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI MENŠÍ HODNOTU

$$k_{zz} = c_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right) \leq c_{mz} \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,4 \left( 1 + (0,566 - 0,2) \cdot \frac{824}{\frac{0,90 \cdot 2 \cdot 076}{1,00}} \right) \leq 0,4 \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{824}{\frac{0,90 \cdot 2 \cdot 076}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,465 \leq 0,259$$

→ DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI MENŠÍ HODNOTU

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot 0,259 = 0,155$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,259 = 0,155$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{824}{\frac{0,90 \cdot 2 \cdot 076}{1,00}} + 0,259 \frac{10 + 0}{\frac{1,00 \cdot 175}{1,00}} + 0,155 \frac{5 + 0}{\frac{175}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,460 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

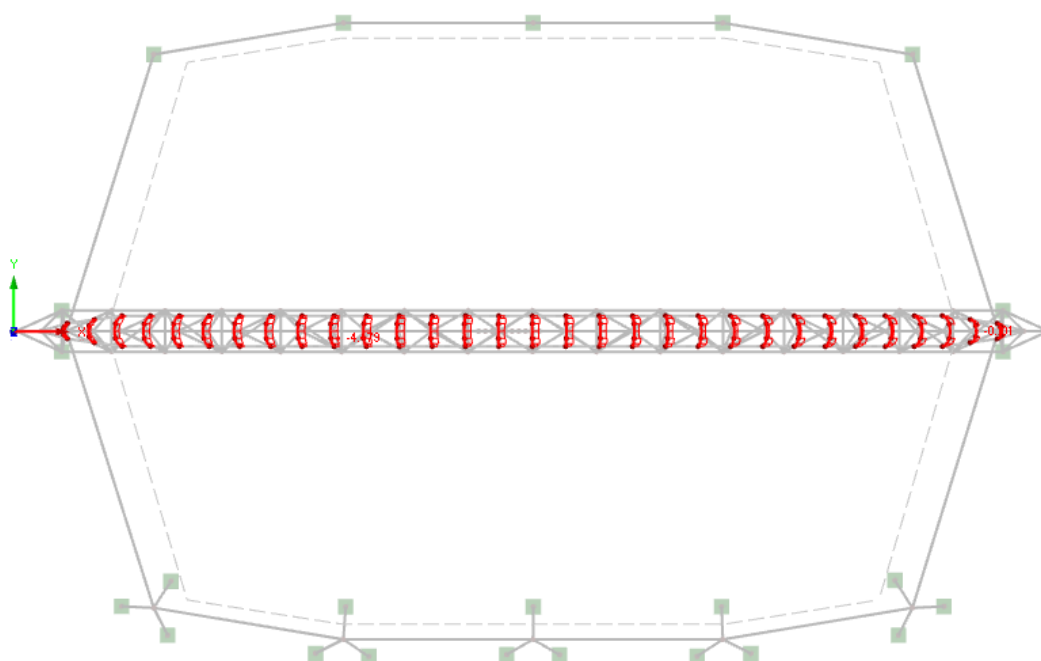
$$\frac{824}{\frac{0,90 \cdot 2\,076}{1,00}} + 0,155 \frac{10 + 0}{\frac{1,00 \cdot 175}{1,00}} + 0,259 \frac{5 + 0}{\frac{175}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,457 \leq 1,0$$

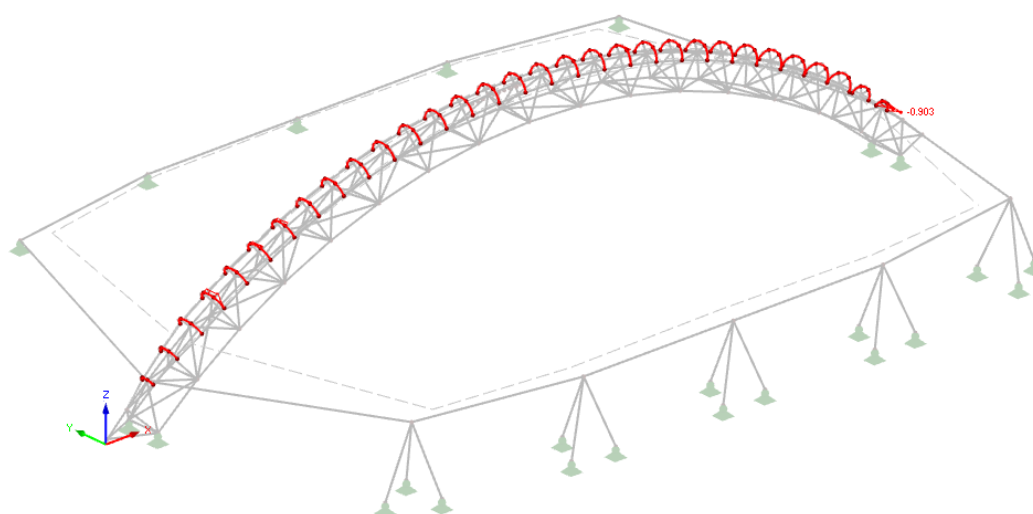
→ VYHOVUJE

→ NAVRŽENÁ TR 273x7 VYHOVUJE

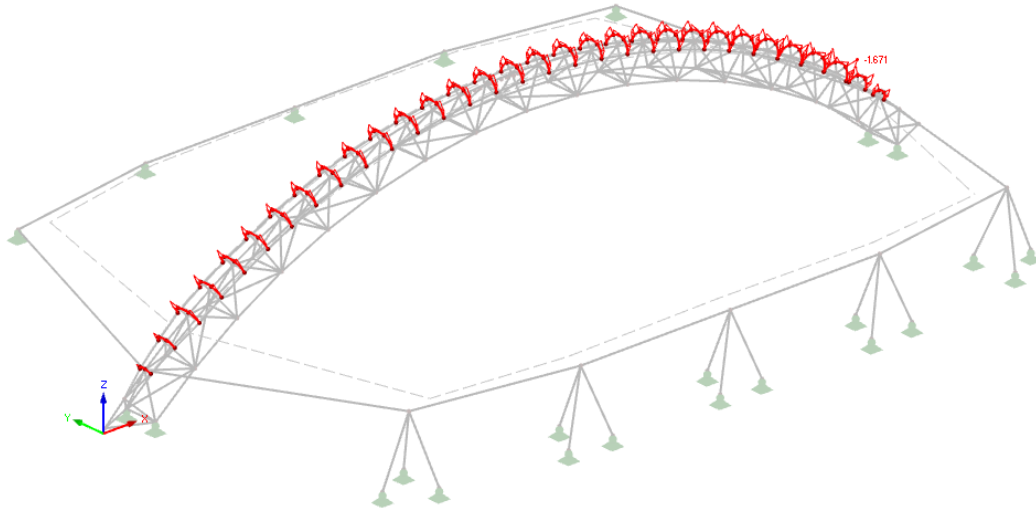
#### 5.4.5 Posouzení oblouků hřbetu



Obr. 60 Normálová síla na obloucích



Obr. 61 Ohybový moment  $M_y$  na obloucích


 Obr. 62 Ohybový moment  $M_z$  na obloucích

$$N_{b,Ed} = 5 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 1 \text{ kNm}$$

$$L = 1\,430 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 2,0 \cdot 950 = 1\,900 \text{ mm}$$

$$\text{Návrh:} \quad \text{TR 48,3x5} \quad \text{S 355}$$

$$A = 680 \text{ mm}^2$$

$$i = 15,4 \text{ mm}$$

$$W_{pl} = 9\,420 \text{ mm}^3$$

$$\frac{d}{t} = \frac{48,3}{5} = 9,7 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \quad \rightarrow \text{TŘÍDA 1}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Posouzení:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{1\,900}{15,4} = 123,4$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{123,4}{93,9 \cdot 0,81} = 1,62 \quad \rightarrow \text{KŘIVKA c} \rightarrow \alpha = 0,49$$

V návrhu je uvažována trubka tvarovaná za studena.

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,49(1,62 - 0,2) + 1,62^2] = 2,15$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,15 + \sqrt{2,15^2 - 1,62^2}} = 0,28$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,28 \cdot 680 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 68 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{y,d} = 680 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 241 \text{ kN}$$

$$N_{b,Ed} = 5 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 68 \text{ kN}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{5}{68} = 0,07 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 7%

Posouzení na ohyb:

$$M_{Rd} = W_{pl} \cdot f_y = 9\,420 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 3,344 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 1 \text{ kNm} < M_{Rd} = 3,344 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

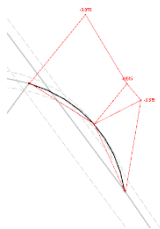
$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{Rd}} = \frac{1}{3,344} = 0,3 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 30%

Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 680 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 241 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$



$$\psi = 0$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$$

$$c_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot 0 \geq 0,4$$

$$c_{mz} = 0,6 \geq 0,4$$

→ DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI VĚTŠÍ HODNOTU



$$k_{zz} = c_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,6 \left( 1 + (1,62 - 0,2) \cdot \frac{5}{\frac{0,28 \cdot 241}{1,00}} \right) \leq 0,6 \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{5}{\frac{0,28 \cdot 241}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,93 \leq 0,79$$

→ DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI MENŠÍ HODNOTU

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,79 = 0,474$$



Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{5}{\frac{0,28 \cdot 241}{1,00}} + 0,474 \frac{1 + 0}{\frac{3,344}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,22 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

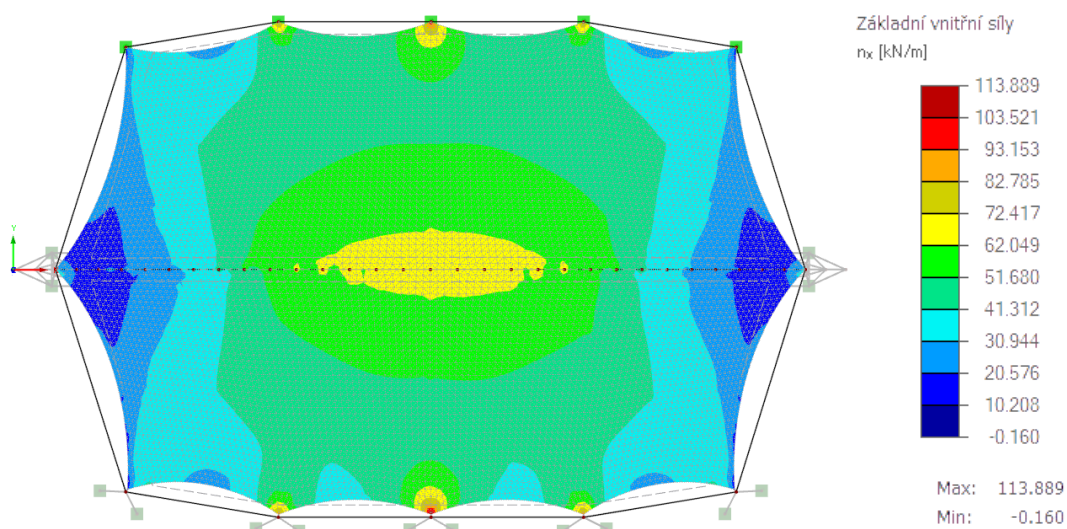
$$\frac{5}{\frac{0,28 \cdot 241}{1,00}} + 0,79 \frac{1 + 0}{\frac{3,344}{1,00}} \leq 1,0$$

$$0,31 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

→ NAVRŽENÁ TR 48,3x5 VYHOVUJE

#### 5.4.6 Posouzení zkružené trubky nesoucí hlavní plachty



Obr. 63 Vnitřní síly nx na hlavních membránách

Maximální napětí v membráně u hlavního vazníku:

$$f_{max} = 72,5 \text{ kN/m}$$

Návrhový moment je uvažován jako moment nad podporou spojitého nosníku. Nosník je upevněn k hlavnímu pasu po 425 mm.

$$M_{Ed} = \frac{1}{10} \cdot f \cdot l^2 = \frac{1}{10} \cdot 72,5 \cdot 0,425^2 = 1,3 \text{ kNm}$$

Návrh: TR 48,3x4 S 355

$$A = 557 \text{ mm}^2$$

$$i = 15,7 \text{ mm}$$

$$W_{pl} = 7\,870 \text{ mm}^3$$

$$\frac{d}{t} = \frac{48,3}{4} = 12 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,81^2 = 32,8 \quad \rightarrow \text{TŘÍDA 1}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Posouzení:

$$M_{Rd} = W_{pl} \cdot f_y = 7\,870 \cdot 355 \cdot 10^{-6} = 2,8 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 1,3 \text{ kNm} < M_{Rd} = 2,8 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{1,3}{2,8} = 0,46 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 46%

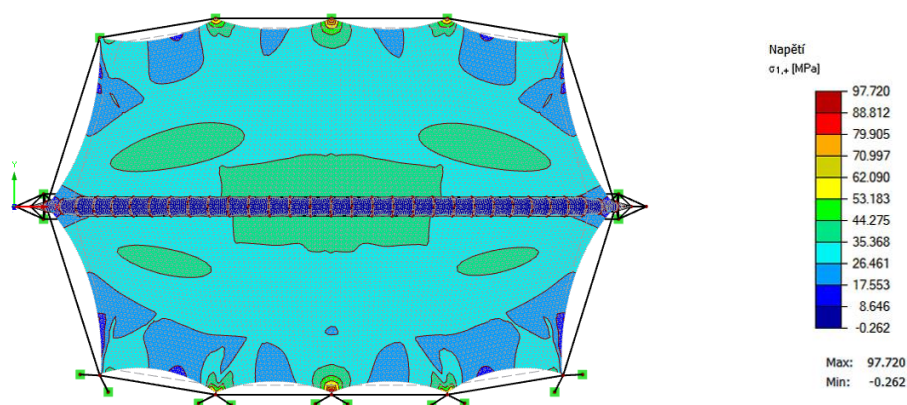
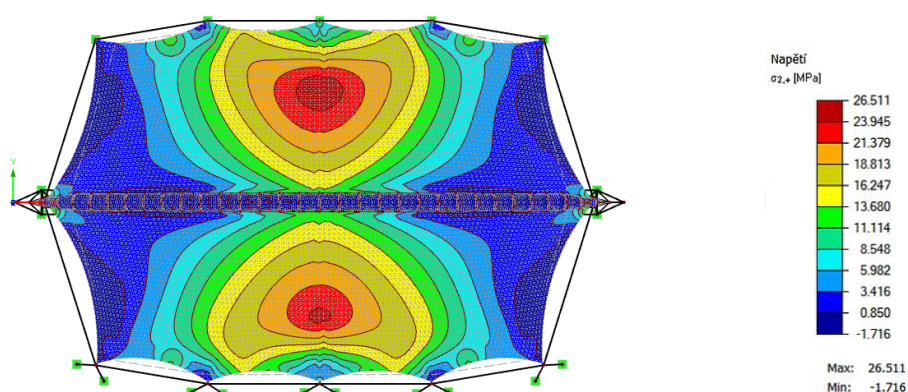
Z důvodu možnosti napletení membrány na trubku je třeba větší poloměr trubky, proto není zvolen menší průřez.

## 5.5 Návrh a posouzení membránového zastřešení

Membrány jsou navrženy z Serge Ferrari Flexlight Advanced Précontraint 1302 S2.

POPIS	HODNOTA	NORMA
TECHNICKÉ VLASTNOSTI		
Název materiálu	Flexlight Advanced Précontraint 1302 S2	
Aplikace	Trvalá	
Hmotnost	1350 g/m <sup>2</sup>	EN ISO 2286-2
Celková tloušťka	1,02 mm	
Pevnost v tahu	800/700 daN/5cm	EN ISO 1421
Pevnost v roztržení	120/110 daN	DIN 53.363
NEHOŘLAVOST		
Euro třída	C-s2,d0	EN 13501-1
Hodnocení		B1/DIN 4102-1, BS 7837

Tab. 7 Technické vlastnosti materiálu membránového zastřešení


 Obr. 64 Napětí  $\sigma_1$  na membránách

 Obr. 65 Napětí  $\sigma_2$  na membránách

Maximální tahové napětí:

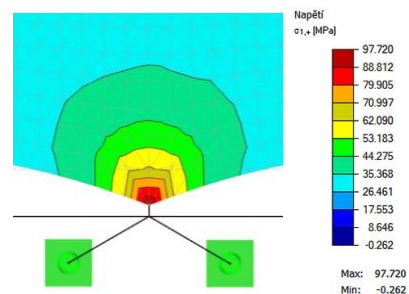
$\sigma_{Ed} = 44,275 \text{ MPa}$  ... tmavší zelená barva

$$\sigma_{Rk} = \frac{\sigma_{pt}}{50 \cdot t} = \frac{800 \cdot 10}{50 \cdot 1,02} = 156,86 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{\sigma_{Rk}}{\gamma} = \frac{156,86}{2,5} = 62,74 \text{ MPa} \text{ ... únosnost jedné vrstvy materiálu}$$

$$\eta = \frac{\sigma_{Ed}}{\sigma_{Rd}} = \frac{44,275}{62,74} = 0,71 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

V rozích textilie se nachází rohové kování z nerezového plechu tl. 15 mm, tj. kruhová výseč o poloměru cca 1 500 mm z rohu membrány a dále min. 350 mm za hranou výseče se membrána zesiluje ještě jednou vrstvou membrány, takže je zde dvojitá tloušťka materiálu. Membrána je posouzena až v místě, kde je pouze jedna vrstva materiálu. V případě zdvojení v rozích je únosnost až  $\sigma_{Rd} \cdot 2 = 125,5 \text{ MPa} > 97,72 \text{ MPa}$ .



Membrány se posuzují se součinitelem bezpečnosti materiálu 2-3, zde je navržen součinitel 2,5.

## 5.6 Návrh a posouzení detailů ocelové konstrukce

### 5.6.1 Návrh a posouzení kotvení sloupu S1

Kotvení je stejné pro sloup S1 a S5.

#### 5.6.1.1 Návrh a posouzení čepového spoje pro sloup S1

$$F_{Ed} = 1\,253\text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1,43\text{ kNm}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0, \gamma_{M1} = 1,0, \gamma_{M2} = 1,25$$

Návrh:

	MATERIÁL PLECHU S 355	MATERIÁL ČEPU S 355
$f_y$	355 MPa	355 MPa
$f_u$	510 MPa	510 MPa
$E_s$	210 GPa	210 GPa
$\nu$	0,3	0,3
$G$	80 769 MPa	80 769 MPa
$\alpha$	0,000 012 K <sup>-1</sup>	0,000 012 K <sup>-1</sup>
$\rho$	7 850 kg/m <sup>3</sup>	7 850 kg/m <sup>3</sup>

Tab. 8 Materiál plechu a čepu

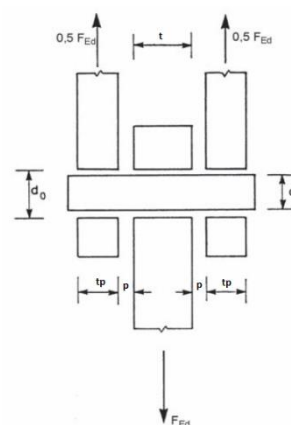
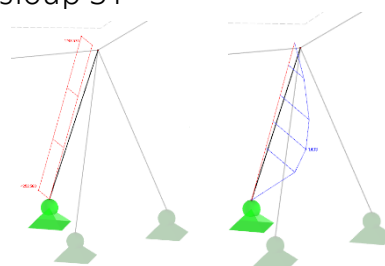
GEOMETRIE ČEPU		
	$d$	100 mm
	$t$	25 mm
	$a$	70 mm
	$c$	35 mm
	$d_0$	102 mm
	$t_p$	15 mm
	$p$	3 mm
Plocha čepu	$A$	7 854 mm <sup>2</sup>
Průřezový modul čepu	$W_{el}$	98 175 mm <sup>3</sup>
Plocha plechu	$A_p$	4 275 mm <sup>2</sup>
Oslabený plocha plechu	$A_{p,net}$	1 750 mm <sup>2</sup>

Tab. 9 Geometrie čepového spoje

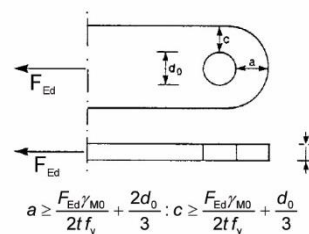
Posouzení:

Únosnost čepu ve střihu

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot A \cdot \frac{f_{up}}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot 7\,854 \cdot \frac{510}{1,25} \cdot 10^{-3} = 1\,923\text{ kN}$$



$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} (t + 4p + 2tp)$$



$$a \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{2d_0}{3} : c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{d_0}{3}$$

$$\frac{F_{v;Ed}}{F_{v;Rd}} = \frac{1\,253}{1\,923} = 0,65 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

Únosnost plechu a čepu v otlacení (Protože je materiál plechu i čepu stejný, stačí posoudit jen jeden z nich.)

$$F_{b;Rd} = 1,5 \cdot t \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 25 \cdot 100 \cdot \frac{355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 1\,331 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{b;Ed}}{F_{b;Rd}} = \frac{1\,253}{1\,331} = 0,94 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

Únosnost čepu v ohybu

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_{el} \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 98\,175 \cdot \frac{355}{1,0} \cdot 10^{-6} = 52,28 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{1,40}{52,28} = 0,03 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

Únosnost čepu při kombinaci stříhu a ohybu

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v;Ed}}{F_{v;Rd}} \right]^2 = \left[ \frac{1,40}{52,28} \right]^2 + \left[ \frac{1\,253}{1\,923} \right]^2 = 0,43 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

#### 5.6.1.2 Únosnost svaru k patnímu plechu

$$\alpha = 66^\circ$$

$$\rightarrow \begin{aligned} F_{Ed,x} &= 510 \text{ kN} \\ F_{Ed,y} &= 1\,145 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_w = 1\,145 \cdot 0,093 = 107 \text{ kNm}$$

$$\text{excentricita: } e = 93 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,9$$

$$\text{Návrh: výška svaru: } a_w = 10 \text{ mm}$$

$$\text{délka svaru: } l_w = 450 \text{ mm}$$

Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru:

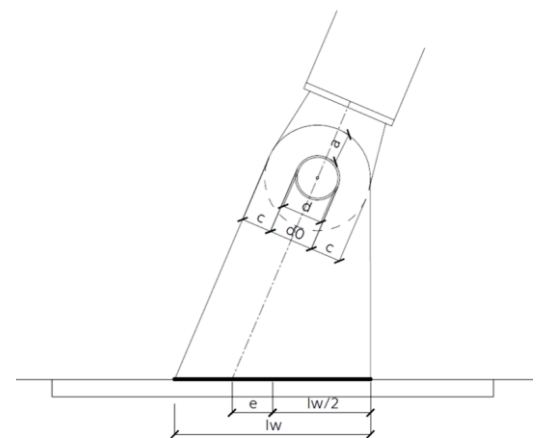
$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed,x}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{510 \cdot 10^3}{2 \cdot 10 \cdot 450} = 57 \text{ MPa}$$

Normálové napětí:

$$\sigma_w = \frac{F_{Ed,y}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} + \frac{M_w}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a_w \cdot l_w^2} = \frac{1\,145 \cdot 10^3}{2 \cdot 10 \cdot 450} + \frac{107 \cdot 10^3}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 10 \cdot 450^2} = 285 \text{ MPa}$$

Smykové napětí kolmé k ose svaru = normálové napětí kolmé k ose svaru:

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{285}{\sqrt{2}} = 201 \text{ MPa}$$



Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{201^2 + 3(201^2 + 57^2)} = 415 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE

$$\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{285}{\sqrt{2}} = 201 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{510}{1,25} = 367,2 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE

## 5.6.2 Návrh a posouzení kotvení sloupu S2

Kotvení je stejné pro sloup S2 a S4.

### 5.6.2.1 Návrh a posouzení čepového spoje pro sloup S2

$$F_{Ed} = 1\,023 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1,40 \text{ kNm}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0, \gamma_{M1} = 1,0, \gamma_{M2} = 1,25$$

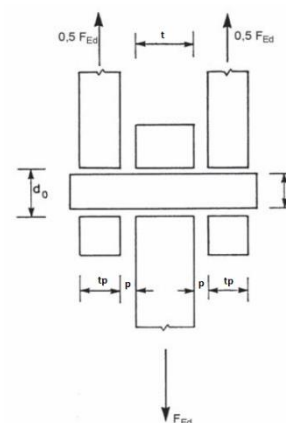
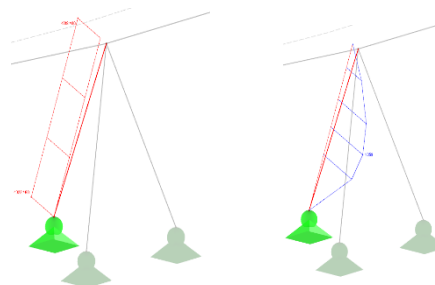
Návrh:

	MATERIÁL PLECHU S 355	MATERIÁL ČEPU S 355
$f_y$	355 MPa	355 MPa
$f_u$	510 MPa	510 MPa
$E_s$	210 GPa	210 GPa
$\nu$	0,3	0,3
$G$	80 769 MPa	80 769 MPa
$\alpha$	0,000 012 K <sup>-1</sup>	0,000 012 K <sup>-1</sup>
$\rho$	7 850 kg/m <sup>3</sup>	7 850 kg/m <sup>3</sup>

Tab. 10 Materiál plechu a čepu

GEOMETRIE ČEPU		
	d	85 mm
	t	25 mm
	a	60 mm
	c	30 mm
	d <sub>0</sub>	86 mm
	t <sub>p</sub>	15 mm
	p	3 mm
Plocha čepu	A	5 675 mm <sup>2</sup>
Průřezový modul čepu	W <sub>el</sub>	60 292 mm <sup>3</sup>
Plocha plechu	A <sub>p</sub>	3 650 mm <sup>2</sup>
Oslabený plocha plechu	A <sub>p,net</sub>	1 500 mm <sup>2</sup>

Tab. 11 Geometrie čepového spoje



$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} (t + 4p + 2tp)$$

$$a \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{2d_0}{3} : c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{d_0}{3}$$

Posouzení:

Únosnost čepu ve střihu

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot A \cdot \frac{f_{up}}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot 5\,675 \cdot \frac{510}{1,25} \cdot 10^{-3} = 1\,389 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{1\,023}{1\,389} = 0,74 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnost plechu a čepu v otlacení (Protože je materiál plechu i čepu stejný, stačí posoudit jen jeden z nich.)

$$F_{b,Rd} = 1,5 \cdot t \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 25 \cdot 85 \cdot \frac{355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 1\,132 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{1\,023}{1\,132} = 0,90 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnost čepu v ohybu

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_{el} \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 60\,292 \cdot \frac{355}{1,0} \cdot 10^{-6} = 32,11 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{1,40}{32,11} = 0,04 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnost čepu při kombinaci střihu a ohybu

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 = \left[ \frac{1,40}{32,11} \right]^2 + \left[ \frac{1\,023}{1\,389} \right]^2 = 0,54 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

#### 5.6.2.2 Únosnost svaru k patnímu plechu

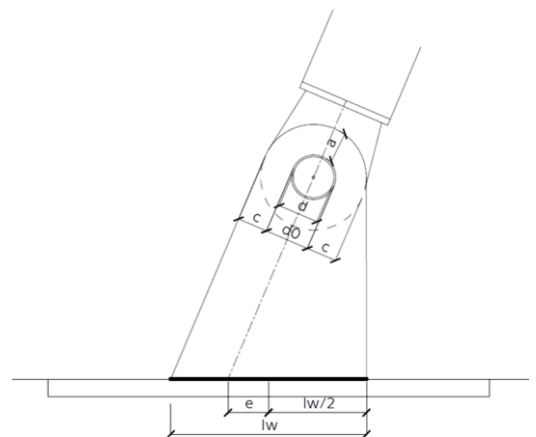
$$\begin{aligned} \alpha = 66^\circ & \quad \rightarrow \quad F_{Ed,x} = 416 \text{ kN} \\ & \quad F_{Ed,y} = 935 \text{ kN} \\ & \quad M_w = 935 \cdot 0,093 = 87 \text{ kNm} \\ & \quad \text{excentricita: } e = 93 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\beta_w = 0,9$$

$$\begin{aligned} \text{Návrh:} \quad & \text{výška svaru: } a_w = 8 \text{ mm} \\ & \text{délka svaru: } l_w = 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed,x}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{416 \cdot 10^3}{2 \cdot 8 \cdot 450} = 58 \text{ MPa}$$





Normálové napětí:

$$\sigma_w = \frac{F_{Ed,y}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} + \frac{M_w}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a_w \cdot l_w^2} = \frac{935 \cdot 10^3}{2 \cdot 8 \cdot 450} + \frac{87 \cdot 10^3}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 8 \cdot 450^2} = 291 \text{ MPa}$$

Smykové napětí kolmé k ose svaru = normálové napětí kolmé k ose svaru:

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{291}{\sqrt{2}} = 206 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{206^2 + 3(206^2 + 58^2)} = 423 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE

$$\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{291}{\sqrt{2}} = 206 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{510}{1,25} = 367,2 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE

### 5.6.3 Návrh a posouzení kotvení sloupu S3

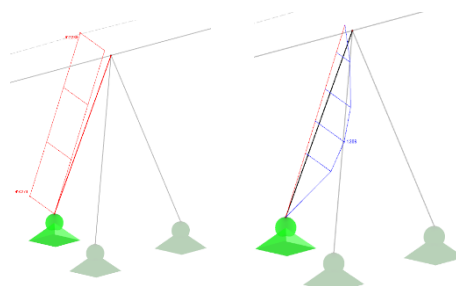
#### 5.6.3.1 Návrh a posouzení čepového spoje pro sloup S3

$$F_{Ed} = 917 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1,31 \text{ kNm}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0, \gamma_{M1} = 1,0, \gamma_{M2} = 1,25$$

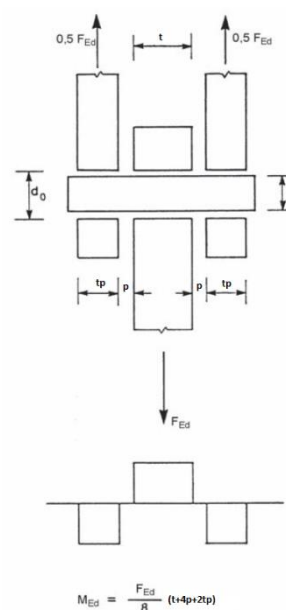
Návrh:



	MATERIÁL PLECHU S 355	MATERIÁL ČEPU S 355
$f_y$	355 MPa	355 MPa
$f_u$	510 MPa	510 MPa
$E_s$	210 GPa	210 GPa
$\nu$	0,3	0,3
$G$	80 769 MPa	80 769 MPa
$\alpha$	0,000 012 K <sup>-1</sup>	0,000 012 K <sup>-1</sup>
$\rho$	7 850 kg/m <sup>3</sup>	7 850 kg/m <sup>3</sup>

Tab. 12 Materiál plechu a čepu

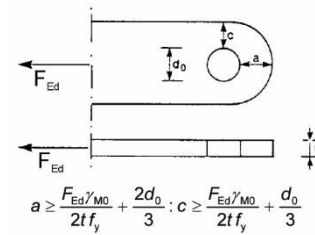
GEOMETRIE ČEPU		
	d	75 mm
	t	25 mm
	a	55 mm
	c	30 mm
	d <sub>0</sub>	76 mm
	t <sub>p</sub>	15 mm
	p	3 mm





Plocha čepu	A	4 418 mm <sup>2</sup>
Průřezový modul čepu	W <sub>el</sub>	41 417 mm <sup>3</sup>
Plocha plechu	A <sub>p</sub>	3 400 mm <sup>2</sup>
Oslabený plocha plechu	A <sub>p,net</sub>	1 500 mm <sup>2</sup>

Tab. 13 Geometrie čepového spoje



Posouzení:

Únosnost čepu ve střihu

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot A \cdot \frac{f_{up}}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot 4\,418 \cdot \frac{510}{1,25} \cdot 10^{-3} = 1\,081 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{917}{1\,081} = 0,85 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

Únosnost plechu a čepu v otláčení (Protože je materiál plechu i čepu stejný, stačí posoudit jen jeden z nich.)

$$F_{b,Rd} = 1,5 \cdot t \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 25 \cdot 75 \cdot \frac{355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 998 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{917}{998} = 0,92 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

Únosnost čepu v ohybu

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_{el} \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 41\,417 \cdot \frac{355}{1,0} \cdot 10^{-6} = 22,05 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{1,31}{22,05} = 0,06 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

Únosnost čepu při kombinaci střihu a ohybu

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 = \left[ \frac{1,31}{22,05} \right]^2 + \left[ \frac{917}{1\,081} \right]^2 = 0,72 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

### 5.6.3.2 Únosnost svaru k patnímu plechu

$$\alpha = 66^\circ \quad \rightarrow \quad F_{Ed,x} = 373 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,y} = 838 \text{ kN}$$

$$M_w = 838 \cdot 0,093 = 78 \text{ kNm}$$

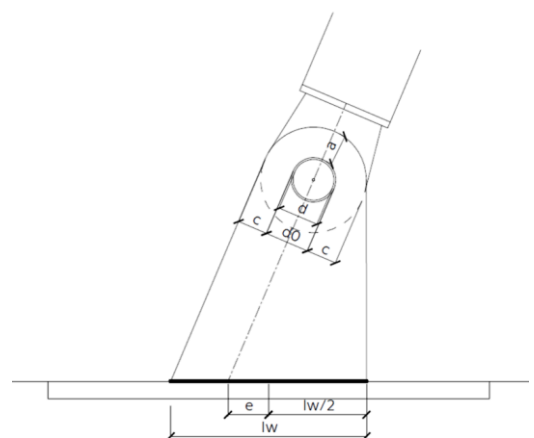
$$\text{excentricita: } e = 93 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,9$$

$$\text{Návrh: výška svaru: } a_w = 8 \text{ mm}$$

$$\text{délka svaru: } l_w = 450 \text{ mm}$$

Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru:



$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed,x}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{373 \cdot 10^3}{2 \cdot 8 \cdot 450} = 52 \text{ MPa}$$

Normálové napětí:

$$\sigma_w = \frac{F_{Ed,y}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} + \frac{M_w}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a_w \cdot l_w^2} = \frac{838 \cdot 10^3}{2 \cdot 8 \cdot 450} + \frac{78 \cdot 10^3}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 8 \cdot 450^2} = 261 \text{ MPa}$$

Smykové napětí kolmé k ose svaru = normálové napětí kolmé k ose svaru:

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{261}{\sqrt{2}} = 184 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{184^2 + 3(184^2 + 52^2)} = 379 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE

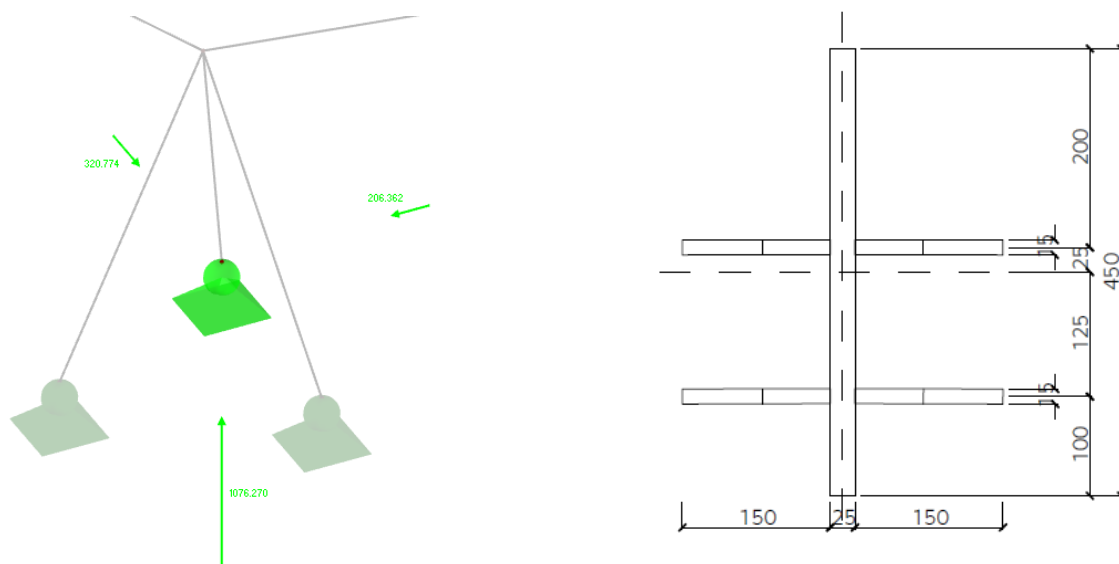
$$\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{261}{\sqrt{2}} = 184 \text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{510}{1,25} = 367,2 \text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE

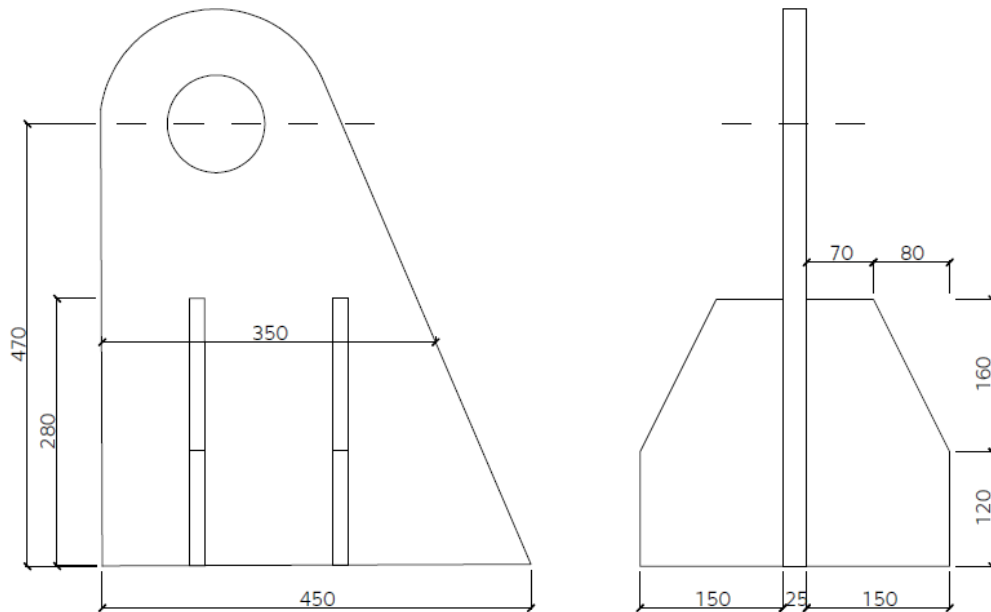
#### 5.6.4 Posouzení kotevního plechu pro sloupy S1, S2, S3, S4, S5

Je vybrán pouze rozhodující posudek, tj. na ohyb.

Ohyb



Obr. 66 vlevo: Reakce v místě kotevního plechu pro sloupy S1-S5;  
vpravo: Geometrie kotevního plechu s výztuhami – půdorys



Obr. 67 Geometrie kotevního plechu s výztuhami – pohled boční a čelní

Síly  $F_{Ed,x}$  a  $F_{Ed,y}$  působí do osy čepu na rameni  $L_c$ .

$$M_{Ed,x} = F_{Ed,y} \cdot L_c = 321 \cdot 470 \cdot 10^{-3} = 151 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = F_{Ed,x} \cdot L_c = 207 \cdot 470 \cdot 10^{-3} = 97 \text{ kNm}$$

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot 450 \cdot 25^3 + 4 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 15 \cdot 150^3 + 15 \cdot 150 \cdot 87,5^2 \right) = 86\,367\,187 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,x} = \frac{I_x}{\Delta y} = \frac{86\,367\,187}{162,5} = 531\,490 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot 450^3 \cdot 25 + 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 15^3 \cdot 150 + 15 \cdot 150 \cdot 125^2 \right) + 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 15^3 \cdot 150 + 15 \cdot 150 \cdot 25^2 \right) = 263\,137\,500 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = \frac{I_y}{\Delta x} = \frac{263\,137\,500}{225} = 1\,169\,500 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd,x} = \frac{W_{pl,x} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{531\,490 \cdot 355 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 189 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,x} = 151 \text{ kNm} < M_{Rd,x} = 189 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd}} = \frac{151}{189} = 0,80 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 80%

$$M_{Rd,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1\,169\,500 \cdot 355 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 415 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = 97 \text{ kNm} < M_{Rd,y} = 415 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd}} = \frac{97}{415} = 0,24 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 24%

KONTROLNÍ POSUDEK V POLOVINĚ PRŮŘEZU PLECHU:

$$M_{Ed,x} = F_{Ed,y} \cdot L_c = 321 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 75 \text{ kNm}$$

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot b_2 \cdot t_1^3 + 2 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot t_2 \cdot h^3 + A_2 \cdot y_2^2 \right) \\ = \frac{1}{12} \cdot 350 \cdot 25^3 + 4 \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot 15 \cdot 90^3 + 15 \cdot 90 \cdot 57,5^2 \right) = 22\,984\,479 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,x} = \frac{I_x}{\Delta y} = \frac{22\,984\,479}{102,5} = 224\,239 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd,x} = \frac{W_{pl,x} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{224\,239 \cdot 355 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 80 \text{ kNm}$$

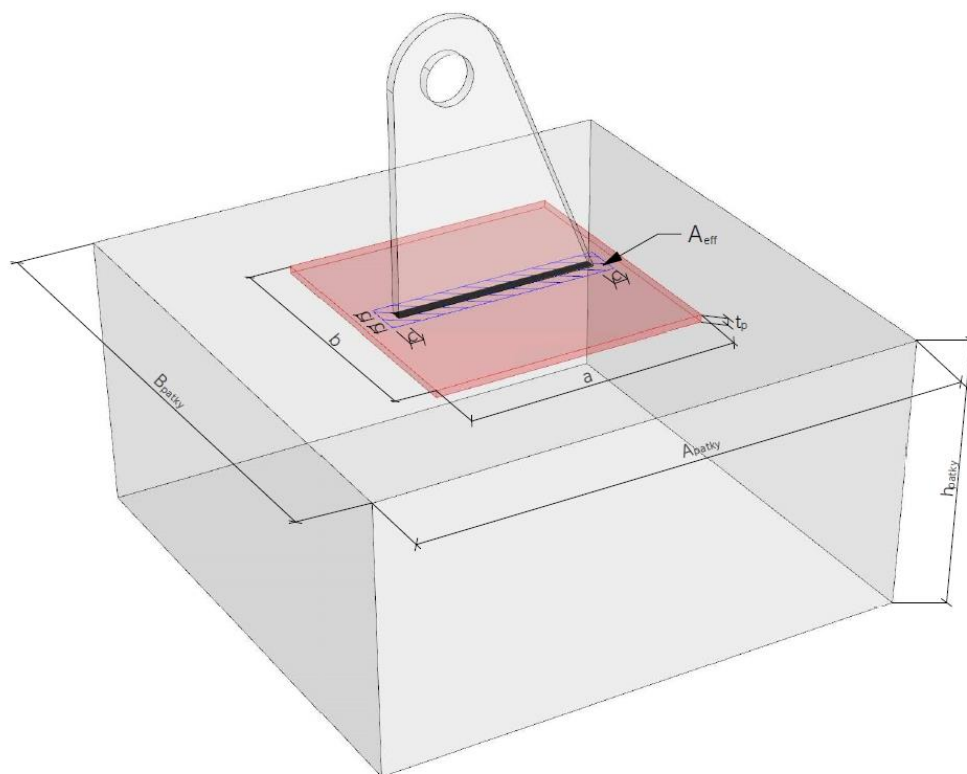
$$M_{Ed,x} = 75 \text{ kNm} < M_{Rd,x} = 80 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd}} = \frac{75}{80} = 0,93 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 93%

5.6.5 Návrh a posouzení patních plechů pro sloupy S1, S2, S3, S4, S5



Obr. 68 Schéma patního plechu

$$N_{Ed} = 1\,253 \text{ kN}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,15, \beta_j = \frac{2}{3}$$

Kotevní ucho: 450x25 mm + Výztuhy: 150x15 mm

Návrh:  $a = 600 \text{ mm}$

$b = 400 \text{ mm}$

$t_p = 10 \text{ mm}$

C20/25

$$A_{patky} = 4\,300 \text{ mm}$$

$$B_{patky} = 4\,600 \text{ mm}$$

$$h_{patky} = 500 \text{ mm}$$

$$a_1 = \min(A_{patky}; 5 \cdot a; a + h_{patky}; 5 \cdot b) = \min(4\,300; 3\,000; 1\,100; 2\,000) = 1\,100 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(B_{patky}; 5 \cdot b; b + h_{patky}; 5 \cdot a) = \min(4\,600; 2\,000; 900; 3\,000) = 900 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{1\,100 \cdot 900}{600 \cdot 400}} = 2,03$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd} = \frac{2}{3} \cdot 2,03 \cdot 13,33 = 18,05 \text{ MPa}$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{MO}}} = 10 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 18,05 \cdot 1,15}} = 24 \text{ mm}$$

Efektivní plocha je uvažována včetně výztuh:

$$A_{eff} = 79\,851 \text{ mm}^2$$

Posouzení:

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 79\,851 \cdot 18,05 = 1\,442 \text{ kN}$$

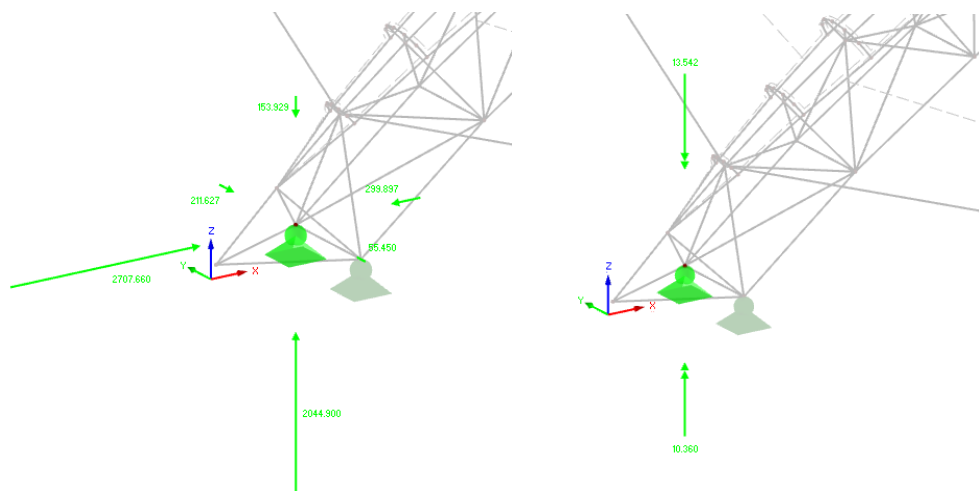
$$N_{Ed} = 1\,253 \text{ kN} < N_{Rd} = 1\,442 \text{ kN}$$

→ VYHOVUJE

Vzhledem k tl. kotevního ucha pro sloupy S1-5 uvažiji z konstrukčních lepšího vzájemného provaření kotevní plech tl. 20 mm.

## 5.6.6 Návrh a posouzení kotvení oblouku

### 5.6.6.1 Návrh a posouzení čepového spoje pro oblouk



Obr. 69 Reakce v místě uložení oblouku

$$F_{Ed} = \sqrt{2\,708^2 + 2\,045^2} = 3\,394\text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 14\text{ kNm}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0, \gamma_{M1} = 1,0, \gamma_{M2} = 1,25$$

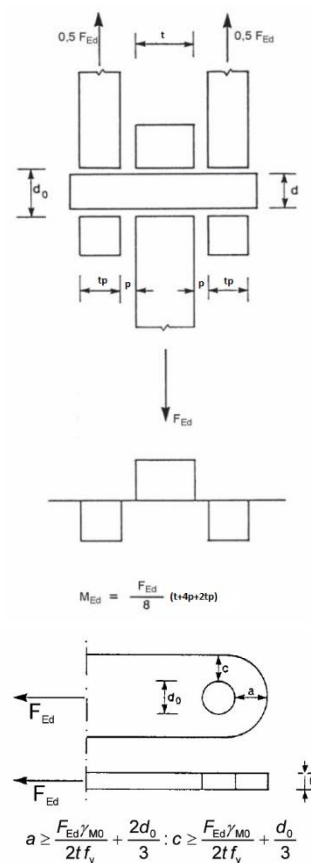
Návrh:

	MATERIÁL PLECHU S 355	MATERIÁL ČEPU S 355
$f_y$	335 MPa	335 MPa
$f_u$	470 MPa	470 MPa
$E_s$	210 GPa	210 GPa
$\nu$	0,3	0,3
$G$	80 769 MPa	80 769 MPa
$\alpha$	0,000 012 K <sup>-1</sup>	0,000 012 K <sup>-1</sup>
$\rho$	7 850 kg/m <sup>3</sup>	7 850 kg/m <sup>3</sup>

Tab. 14 Materiál plechu a čepu

GEOMETRIE ČEPU		
	D	150 mm
	T	50 mm
	A	105 mm
	C	55 mm
	$d_0$	152 mm
	$t_p$	25 mm
	P	3 mm
Plocha čepu	A	17 671 mm <sup>2</sup>
Průřezový modul čepu	$W_{el}$	331 340 mm <sup>3</sup>
Plocha plechu	$A_p$	13 100 mm <sup>2</sup>
Oslabený plocha plechu	$A_{p,net}$	5 500 mm <sup>2</sup>

Tab. 15 Geometrie čepového spoje



Posouzení:

Únosnost čepu ve střihu

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot A \cdot \frac{f_{up}}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot 17\,671 \cdot \frac{470}{1,25} \cdot 10^{-3} = 3\,987 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{3\,394}{3\,987} = 0,85 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnost plechu a čepu v otláčení (Protože je materiál plechu i čepu stejný, stačí posoudit jen jeden z nich.)

$$F_{b,Rd} = 1,5 \cdot t \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 50 \cdot 150 \cdot \frac{335}{1,0} \cdot 10^{-3} = 3\,769 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{3\,394}{3\,769} = 0,90 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnost čepu v ohybu

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_{el} \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 331\,340 \cdot \frac{335}{1,0} \cdot 10^{-6} = 166 \text{ kNm}$$

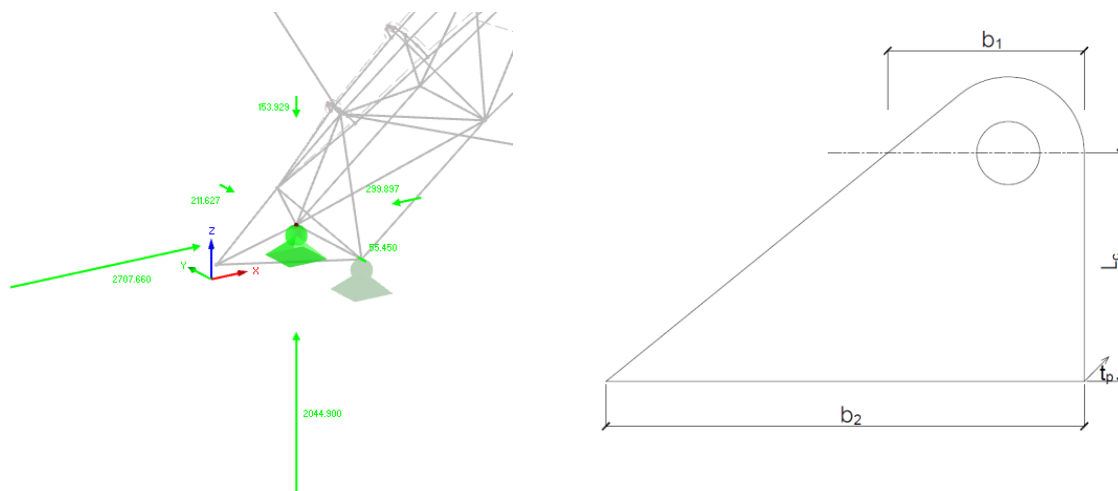
$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{14}{166} = 0,08 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Únosnost čepu při kombinaci střihu a ohybu

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 = \left[ \frac{14}{166} \right]^2 + \left[ \frac{3\,394}{3\,987} \right]^2 = 0,73 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 5.6.6.2 Posouzení kotevního plechu

Vzpěr



Obr. 70 vlevo: Reakce v místě kotevního plechu pro oblouk;  
vpravo: Geometrie kotevního plechu – boční pohled

$$N_{Ed} = 2\,045\text{ kN}$$

$$L_c = 550\text{ mm}$$

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 1,3 \cdot 550 = 715\text{ mm}$$

Součinitel vzpěrné délky  $\beta$  je uvažována 1,3 z důvodu, že kotevní plech má vzpěrnou délku mezi kloub-kloub a kloub-vetknutí.

$$b_1 = 470\text{ mm}$$

$$b_2 = 1\,150\text{ mm}$$

$$t_p = 50\text{ mm}$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot \frac{b_1 + b_2}{2} \cdot t_p^3 = \frac{1}{12} \cdot \frac{470 + 1\,150}{2} \cdot 50^3 = 8\,437\,500\text{ mm}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{8\,437\,500}{470 \cdot 50}} = 18,9\text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{715}{18,9} = 37,8$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}}} = \frac{37,8}{93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{335}}} = 0,48$$

→ KŘIVKA c →  $\alpha = 0,49$

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,49(0,48 - 0,2) + 0,48^2] = 0,69$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,69 + \sqrt{0,69^2 - 0,48^2}} = 0,85$$



$$N_{b,Rd} = \chi \cdot b_1 \cdot t_p \cdot f_{y,d} = 0,85 \cdot 470 \cdot 50 \cdot 335 \cdot 10^{-3} = 6\,691 \text{ kN}$$

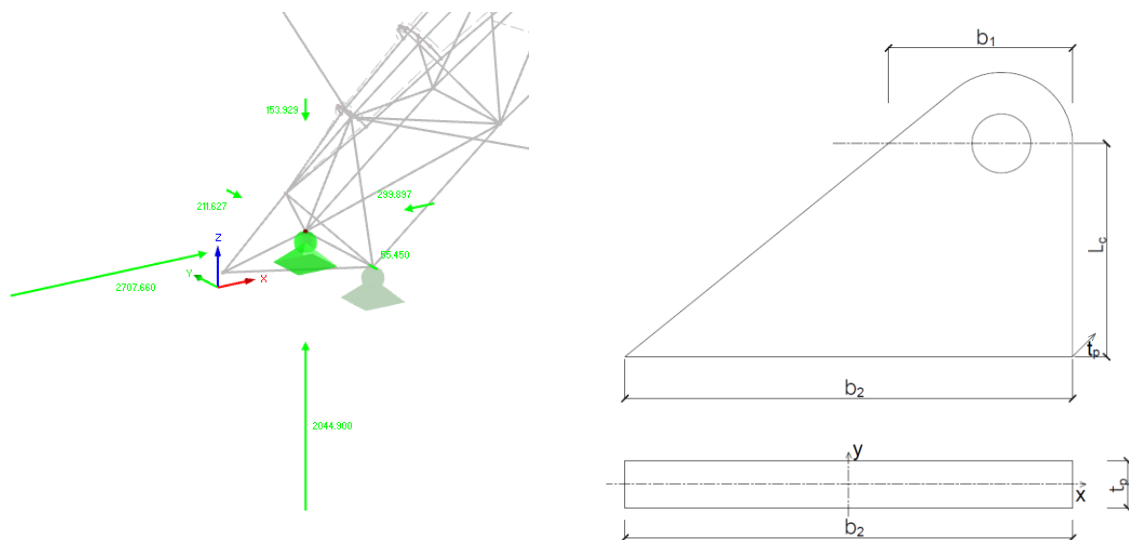
$$N_{b,Ed} = 2\,045 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 6\,691 \text{ kN}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{2\,045}{6\,691} = 0,3 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 30%

Ohyb



Obr. 71 vlevo: Reakce v místě kotvení plechu pro oblouk;  
vpravo: Geometrie kotvení plechu – boční pohled a půdorys

Síly  $F_{Ed,x}$  a  $F_{Ed,y}$  působí do osy čepu na rameni  $L_c$ .

$$M_{Ed,x} = F_{Ed,y} \cdot L_c = 212 \cdot 550 \cdot 10^{-3} = 117 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = F_{Ed,x} \cdot L_c = 2\,708 \cdot 550 \cdot 10^{-3} = 1\,489 \text{ kNm}$$

$$W_{pl,x} = \frac{1}{6} \cdot t^2 \cdot b_2 = \frac{1}{6} \cdot 50^2 \cdot 1\,150 = 479\,167 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = \frac{1}{6} \cdot t \cdot b_2^2 = \frac{1}{6} \cdot 50 \cdot 1\,150^2 = 11\,020\,833 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd,x} = \frac{W_{pl,x} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{479\,167 \cdot 335 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 160,5 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,x} = 117 \text{ kNm} < M_{Rd,x} = 160,5 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd}} = \frac{117}{160,5} = 0,72 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 72%

$$M_{Rd,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11\,020\,833 \cdot 335 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 3\,691,9 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = 1\,489 \text{ kNm} < M_{Rd,y} = 3\,691,9 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd}} = \frac{1\,489}{3\,691,9} = 0,40 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 40%

KONTROLNÍ POSUDEK V POLOVINĚ PRŮŘEZU PLECHU:

$$M_{Ed,x} = F_{Ed,y} \cdot L_c = 212 \cdot 275 \cdot 10^{-3} = 58,3 \text{ kNm}$$

$$W_{pl,x} = \frac{1}{6} \cdot t^2 \cdot b_2 = \frac{1}{6} \cdot 50^2 \cdot 720 = 300\,000 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd,x} = \frac{W_{pl,x} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{300\,000 \cdot 335 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 100 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,x} = 58,3 \text{ kNm} < M_{Rd,x} = 100 \text{ kNm}$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd}} = \frac{58,3}{100} = 0,58 \leq 1,0$$

→ VYUŽITÍ NA 58%

Kombinace tlak + ohyb

$$N_{Rk} = b_1 \cdot t_p \cdot f_y = 470 \cdot 50 \cdot 335 \cdot 10^{-3} = 7\,872 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$

$$\psi = 0$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot 0 \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,6 \geq 0,4$$

→ DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI  
VĚTŠÍ HODNOTU



$$\psi = 0$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot 0 \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,6 \geq 0,4$$

→ DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI  
VĚTŠÍ HODNOTU



$$k_{yy} = c_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,6 \left( 1 + (0,48 - 0,2) \cdot \frac{2\,045}{\frac{0,85 \cdot 7\,872}{1,00}} \right) \leq 0,6 \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{2\,045}{\frac{0,85 \cdot 7\,872}{1,00}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,651 \leq 0,453$$

→ DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI MENŠÍ HODNOTU

$$k_{zz} = c_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,6 \left( 1 + (0,48 - 0,2) \cdot \frac{2\,045}{\frac{0,85 \cdot 7\,872}{1,00}} \right) \leq 0,6 \left( 1 - 0,8 \cdot \frac{2\,045}{\frac{0,85 \cdot 7\,872}{1,00}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,651 \leq \mathbf{0,453} \quad \rightarrow \text{DO DALŠÍHO VÝPOČTU UVAŽUJI MENŠÍ HODNOTU}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot 0,453 = \mathbf{0,272}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,453 = \mathbf{0,272}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{Ed,x} + \Delta M_{Ed,x}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{Rk,x}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{Ed,y} + \Delta M_{Ed,y}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq \mathbf{1,0}$$

$$\frac{2\,045}{\frac{0,85 \cdot 7\,872}{1,00}} + 0,453 \frac{117 + 0}{\frac{1,00 \cdot 160,5}{1,00}} + 0,272 \frac{1\,489 + 0}{\frac{3\,692}{1,00}} \leq \mathbf{1,0}$$

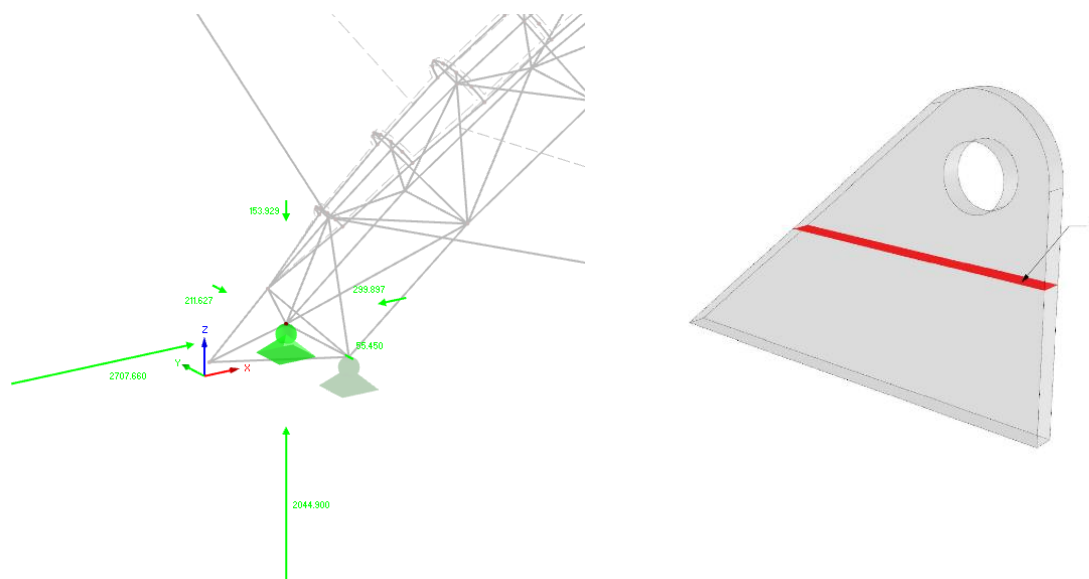
$$\mathbf{0,75} \leq \mathbf{1,0} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{Ed,x} + \Delta M_{Ed,x}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{Rk,x}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{Ed,y} + \Delta M_{Ed,y}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq \mathbf{1,0}$$

$$\frac{2\,045}{\frac{0,85 \cdot 7\,872}{1,00}} + 0,272 \frac{117 + 0}{\frac{1,00 \cdot 160,5}{1,00}} + 0,453 \frac{1\,489 + 0}{\frac{3\,692}{1,00}} \leq \mathbf{1,0}$$

$$\mathbf{0,68} \leq \mathbf{1,0} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Smyk



Obr. 72 vlevo: Reakce v místě kotevního plechu pro oblouk;  
vpravo: Schéma uvažované plochy A

$$V_{Ed,x} = 2\,710\text{ kN}$$

$$V_{Ed,y} = 212\text{ kN}$$

Plocha A je uvažována uprostřed konkrétního kotevního plechu.

$$A_{vz} = \frac{5}{6} \cdot A = \frac{5}{6} \cdot 720 \cdot 50 = 30\,000\text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{30\,000 \cdot 335}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 7\,106\text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed,x}}{V_{Rd}} = \frac{2\,710}{7\,106} = 0,38 < 1,0$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{V_{Ed,y}}{V_{Rd}} = \frac{212}{7\,106} = 0,03 < 1,0$$

→ VYHOVUJE

$$\frac{V_{Ed,x}}{V_{Rd}} + \frac{V_{Ed,y}}{V_{Rd}} = \frac{2\,710}{7\,106} + \frac{212}{7\,106} = 0,41 \leq 1,0$$

→ VYHOVUJE

Navržený kotevní plech tl. 50 mm vyhovuje i bez výztuh. Z konstrukčního hlediska jsou ale navrženy 3 výztuhy P20.

## 5.6.6.3 Únosnost svaru k patnímu plechu

$$\alpha = 39^\circ \quad \rightarrow \quad F_{Ed,x} = 2\,638\text{ kN}$$

$$F_{Ed,y} = 2\,136\text{ kN}$$

$$M_w = 2\,136 \cdot 0,1 = 213,6\text{ kNm}$$

excentricita:  $e = 280\text{ mm}$

$$\beta_w = 0,9$$

Návrh: výška svaru:  $a_w = 10\text{ mm}$

délka svaru:  $l_w = 1\,150\text{ mm}$

Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed,x}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{2\,638 \cdot 10^3}{2 \cdot 10 \cdot 1\,150} = 115\text{ MPa}$$

Normálové napětí:

$$\sigma_w = \frac{F_{Ed,y}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} + \frac{M_w}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a_w \cdot l_w^2} = \frac{2\,136 \cdot 10^3}{2 \cdot 10 \cdot 1\,150} + \frac{213,6 \cdot 10^3}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 10 \cdot 1\,150^2} = 229\text{ MPa}$$

Smykové napětí kolmé k ose svaru = normálové napětí kolmé k ose svaru:

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{229}{\sqrt{2}} = 162\text{ MPa}$$

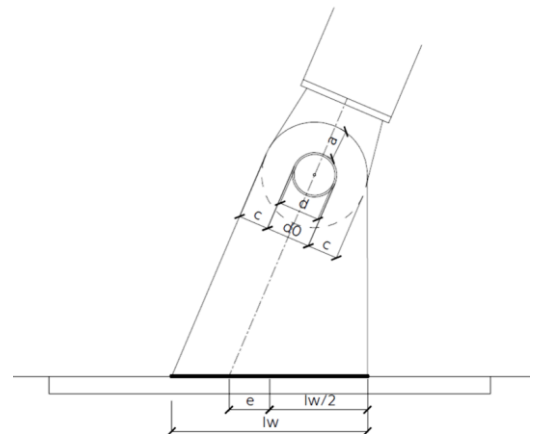
Posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{162^2 + 3(162^2 + 115^2)} = 380\text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{470}{0,9 \cdot 1,25} = 418\text{ MPa}$$

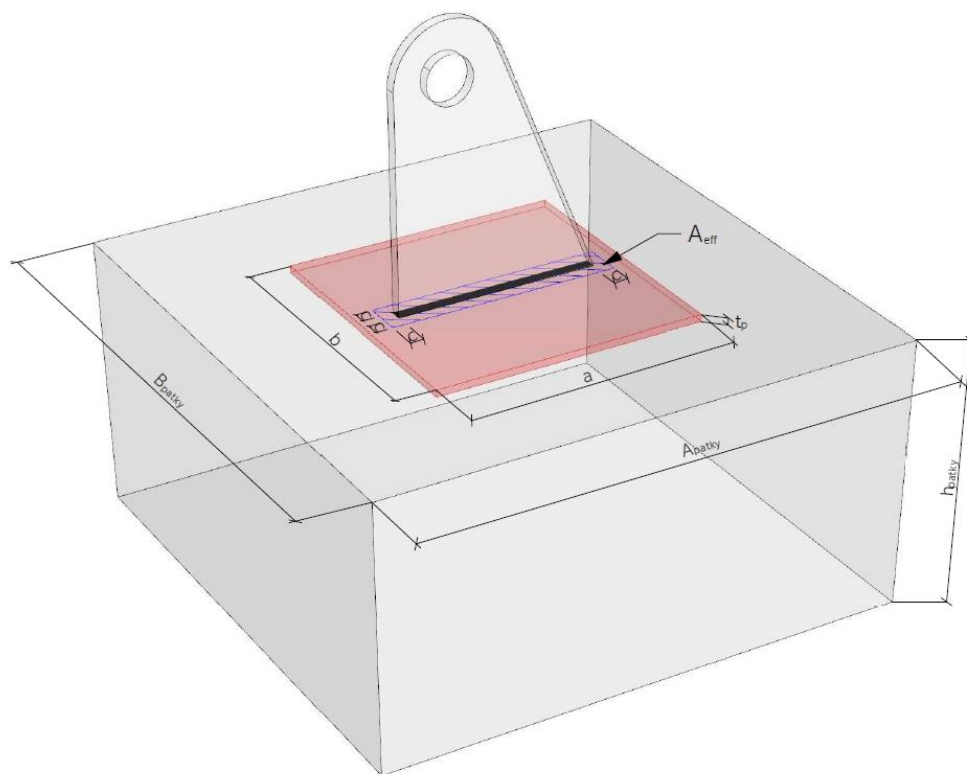
→ VYHOVUJE

$$\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{229}{\sqrt{2}} = 162\text{ MPa} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{470}{1,25} = 338\text{ MPa}$$

→ VYHOVUJE



### 5.6.7 Návrh a posouzení patních plechů pro oblouk



Obr. 73 Schéma patního plechu

$$N_{Ed} = 3\,394\text{ kN}$$

$$f_y = 355\text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,15, \beta_j = \frac{2}{3}$$

Kotevní ucho: 1 150x50 mm + Výztuhy: 100x20 mm

Návrh:  $a = 1\,500\text{ mm}$

$$b = 350\text{ mm}$$

$$t_p = 20\text{ mm}$$

C20/25

$$A_{patky} = 2\,400\text{ mm}$$

$$B_{patky} = 5\,500\text{ mm}$$

$$h_{patky} = 500\text{ mm}$$

$$a_1 = \min(A_{patky}; 5 \cdot a; a + h_{patky}; 5 \cdot b) = \min(2\,400; 7\,500; 2\,000; 1\,750) = 1\,750\text{ mm}$$

$$b_1 = \min(B_{patky}; 5 \cdot b; b + h_{patky}; 5 \cdot a) = \min(5\,500; 1\,750; 850; 7\,500) = 850\text{ mm}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{20}{1,5} = 13,3 \text{ MPa}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{1\,750 \cdot 850}{1\,500 \cdot 350}} = 1,68$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd} = \frac{2}{3} \cdot 1,68 \cdot 13,3 = 14,96 \text{ MPa}$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{MO}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 14,96 \cdot 1,15}} = 52 \text{ mm}$$

Efektivní plocha je uvažována včetně výztuh:

$$A_{eff} = 308\,624 \text{ mm}^2$$

Posouzení:

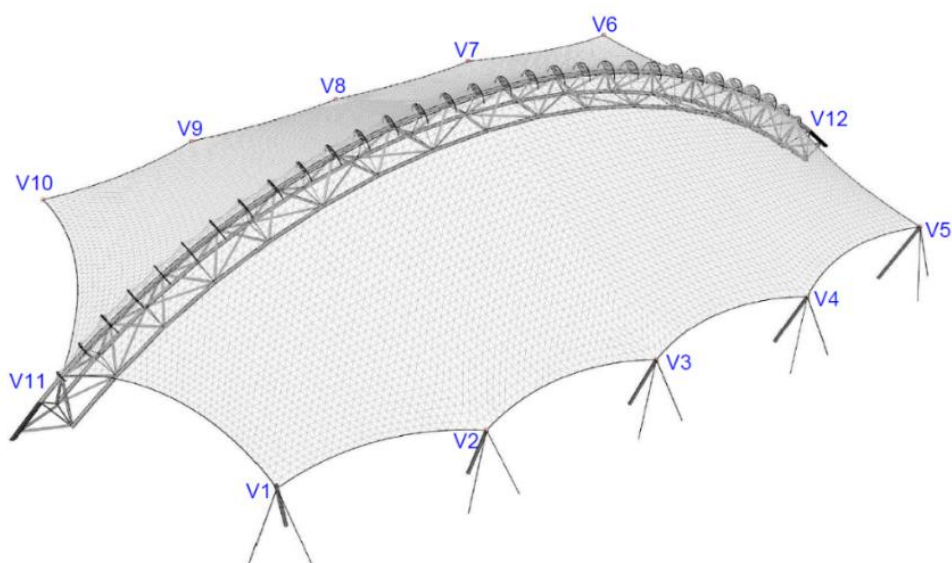
$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 308\,624 \cdot 14,96 = 4\,617 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 3\,394 \text{ kN} < N_{Rd} = 4\,617 \text{ kN}$$

→ VYHOVUJE

#### 5.6.8 Vidlice s vnějším závitem

Síly pro vidlice jsou uvažovány jako reakce v místě přechodu membrány do ocelové konstrukce. Uvedené navržené průměry jsou průměry lan, pro které je třeba uvažovat ekvivaletní vidlice s vnějším závitem. Nejedná se tedy o průměr metrického závitu vidlice.



Obr. 74 Schéma vidliček

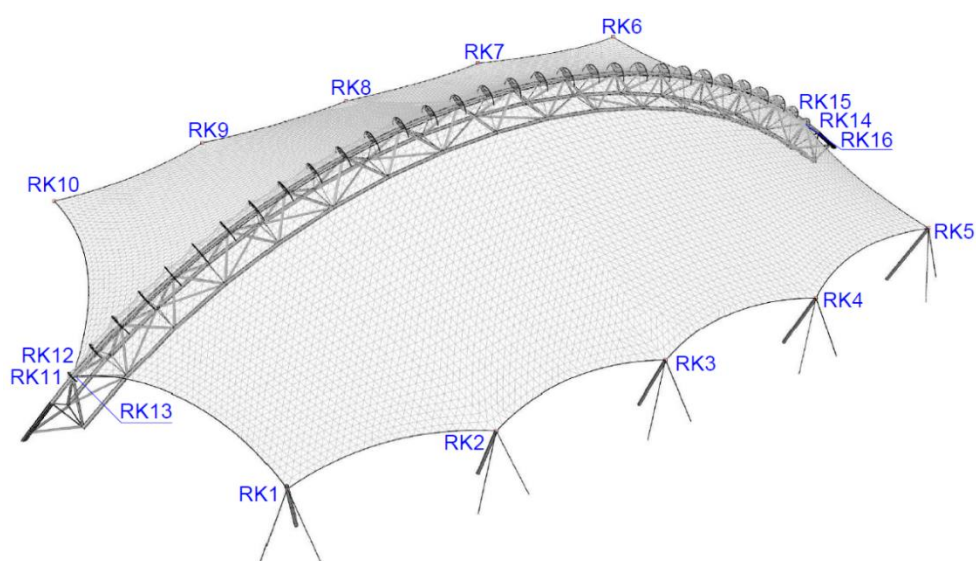
VIDLICE S VNĚJŠÍM ZÁVITEM							
		V1	V2	V3	V4	V5	V6
Normálová tahová síla	$N_{t,Ed}$ [kN]	639	681	697	683	631	642
Návrh							
Vidlice s vnějším závitem Fatzer	$\emptyset$ [mm]	36	38	38	38	36	36
Návrhová únosnost	$N_{t,Rd}$ [kN]	650	724	724	724	650	650
Rovnice pro posouzení	$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$	0,98	0,94	0,96	0,94	0,97	0,98

VIDLICE S VNĚJŠÍM ZÁVITEM							
		V7	V8	V9	V10	V11	V12
Normálová tahová síla	$N_{t,Ed}$ [kN]	692	705	695	643	5	5
Návrh							
Vidlice s vnějším závitem Fatzer	$\emptyset$ [mm]	38	38	38	36	6	6
Návrhová únosnost	$N_{t,Rd}$ [kN]	724	724	724	650	19,1	19,1
Rovnice pro posouzení	$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$	0,95	0,97	0,95	0,98	0,32	0,32

Tab. 16 Návrh a posouzení vidliček s vnějším závitem

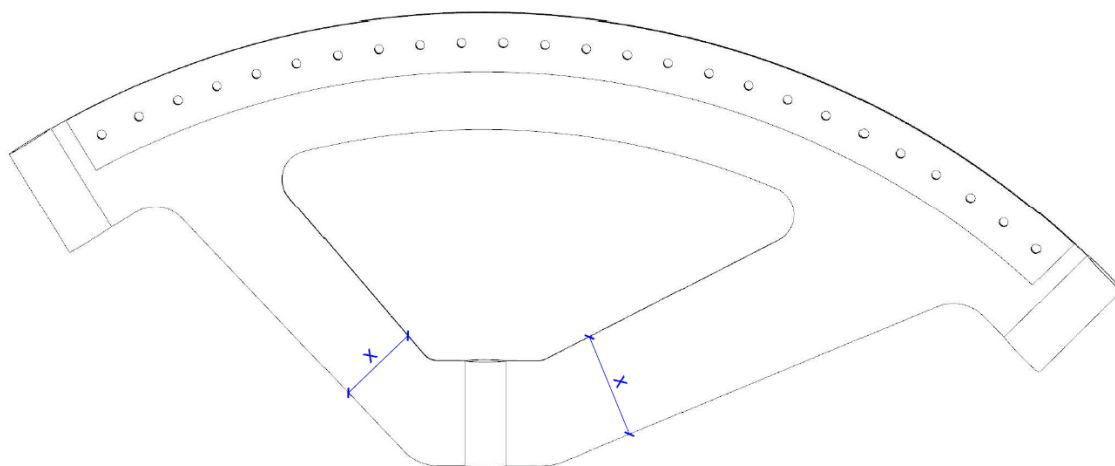
### 5.6.9 Návrh a posouzení rohového kování

Síly pro rohové kování jsou uvažovány jako reakce v místě přechodu membrány do ocelové konstrukce.



Obr. 75 Schéma rohových kování





Obr. 76 Schéma rohového kování

ROHOVÉ KOVÁNÍ										
		RK1	RK2	RK3	RK4	RK5	RK6	RK7	RK8	RK9
Normálová tahová síla	$N_{t,Ed}$ [kN]	639	681	697	683	631	642	692	705	695
Geometrie	$2x = y$ [mm]	280								
Tloušťka	$t$ [mm]	15								
Průřezová plocha	$A$ [mm <sup>2</sup> ]	4 200								
Napětí	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	152	162	166	163	150	153	165	168	165
Materiál	-	Nerez 1.4401								
Charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$ [MPa]	210								
Součinitel materiálu (nerez)	$\gamma_{MO}$ [-]	1,1								
Rovnice pro posouzení	$\frac{\sigma_{Ed}}{f_y / \gamma_{MO}} \leq 1,0$	0,72	0,77	0,79	0,78	0,71	0,73	0,79	0,80	0,79

Tab. 17 Návrh a posouzení rohových kování

ROHOVÉ KOVÁNÍ								
		RK 10	RK 11	RK 12	RK 13	RK 14	RK 15	RK 16
Normálová tahová síla	$N_{t,Ed}$ [kN]	643	5	631	543	5	632	539
Geometrie	$2x = y$ [mm]	280	80	280	280	80	280	280
Tloušťka	$t$ [mm]	15	5	15	15	5	15	15
Průřezová plocha	$A$ [mm <sup>2</sup> ]	4 200	400	4 200	4 200	400	4 200	4 200
Napětí	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	153	12,5	150	129	12,5	150	128
Materiál	-	Nerez 1.4401						
Charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$ [MPa]	210						
Součinitel materiálu (nerez)	$\gamma_{M0}$ [-]	1,1						
Rovnice pro posouzení	$\frac{\sigma_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \leq 1,0$	0,73	0,06	0,71	0,61	0,06	0,71	0,61

Tab. 18 Návrh a posouzení rohových kování

### 5.6.10 Návrh a posouzení smyku rohového kování

$$V_{Ed} = 639 \text{ kN}$$

Plocha A je uvažována v nejužším místě vedle trubičky pro vidličku v konkrétním rohovém kování.

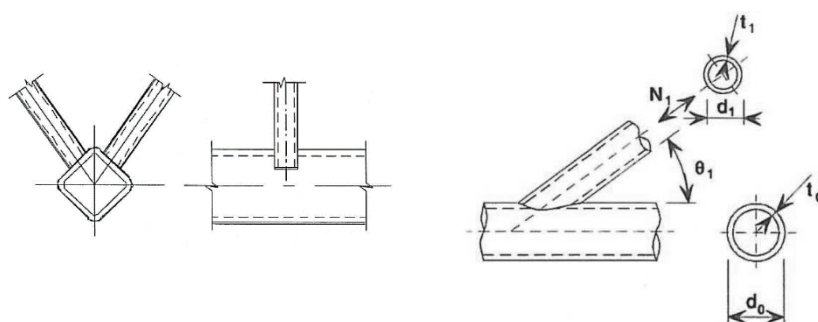
$$V_{Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2 \cdot 250 \cdot 15 \cdot 210}{\sqrt{3} \cdot 1,1} \cdot 10^{-3} = 827 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{639}{827} = 0,77 < 1,0$$

→ VYHOVUJE

### 5.6.11 Posouzení porušení styčnicku dutých průřezů

Pro výpočet byl zvolen styčník ve vrcholu oblouku, který je definovaný jako styčník TT.



Obr. 77 Schéma styčnicku TT

Průřez pasu: 273/16

Průřez diagonály: 57/3,5

$$N_{1,Ed} = -29 \text{ kN}$$

$$N_P = -2\,765 \text{ kN}$$

$$\theta_1 = 90^\circ$$

Podmínky pro svařované styčníky mezipásových prutů a pásů z CHS dle tab. 7.1 EC3-1-8:

$$0,2 \leq \frac{d_i}{d_0} = \frac{57}{273} = 0,21 \leq 1,0 \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$10 \leq \frac{d_0}{t_0} = \frac{273}{16} = 17,1 \leq 50 \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$g \leq t_1 + t_2$$

$$97 \leq 3,5 + 3,5 = 7 \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Porušení povrchu pásu:

$$\beta = \frac{d_1}{d_0} = \frac{57}{273} = 0,21$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{273}{2 \cdot 3,5} = 39$$

$$f_{y,0} = 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_P}{A} = \frac{2\,765 \cdot 10^3}{12\,918,2} = 214 \text{ MPa}$$

$$n_p = \frac{\frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y,0}}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{214}{355}}{1,00} = 0,603$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,603 (1 + 0,603) = 0,71$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{\gamma^{0,2} \cdot k_p \cdot f_{y,0} \cdot t_0^2}{\sin(\theta_1)} (2,8 + 14,2 \cdot \beta^2)}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{39^{0,2} \cdot 0,71 \cdot 355 \cdot 16^2}{\sin(90)} (2,8 + 14,2 \cdot 0,21^2)}{1,0} = 459,997 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 29 \text{ kN} < N_{1,Rd} = 459,997 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Porušení prolomení smykem:

$$d_i \leq d_0 - 2 \cdot t_0$$

$$57 \leq 273 - 2 \cdot 16 = 241 \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

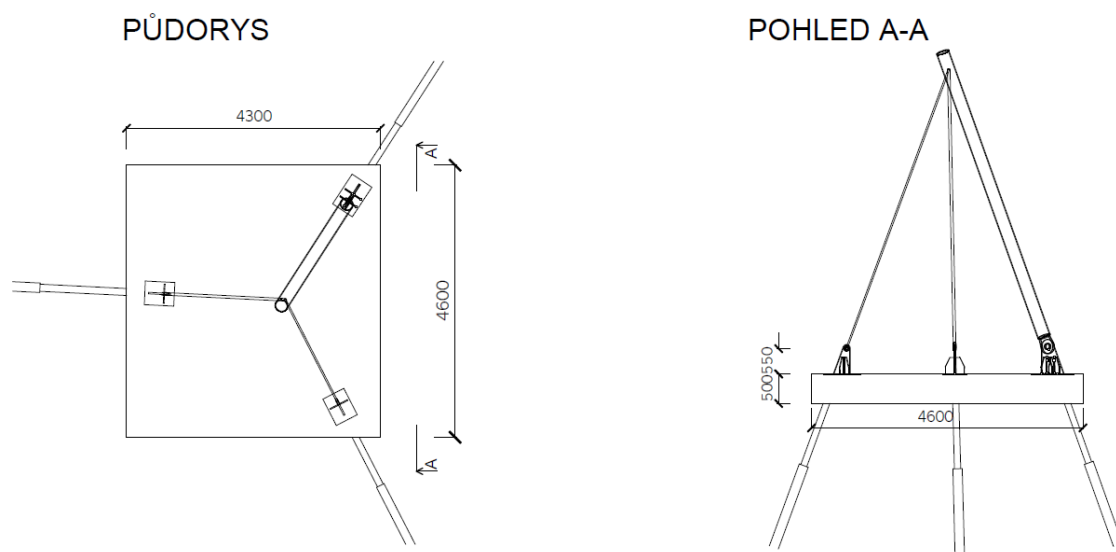
$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{f_{y,0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{1+\sin(\theta_1)}{2 \cdot \sin^2(\theta_1)}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{355}{\sqrt{3}} \cdot 16 \cdot \pi \cdot 57 \cdot \frac{1+\sin(90)}{2 \cdot \sin^2(90)}}{1,0} = 587,236 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = 29 \text{ kN} < N_{1,Rd} = 587,236 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 6 NÁVRH A POSOUZENÍ ZÁKLADOVÝCH KONSTRUKCÍ

V návrhu je uvažováno se založením na betonové kvádry v rozsahu trojnožek a v patách oblouku. Tyto betonové bloky jsou kotveny pomocí mikropilot do únosnějších zemin. Mikropiloty jsou nakloněny v směrech dominantních sil plynoucích z horní stavby.

Mikropiloty jsou uvažovány jako vetknuté do skalního podloží, které je tvořené navětralým granodioritem, případně metabazaltem. Těleso mikropiloty prochází jíly se střední plasticitou F6-CL a písčitou hlínou F3-MS (do hloubky 5,1 m pod úroveň terénu) a následně štěrky G3-GF s příměsí jemnozrné zeminy (do hloubky 8,1 m pod úroveň terénu).



Obr. 78 Schéma geometrie základů pro trojnožku

### 6.1 Základy pod trojnožkami

Základ je tvořený betonovým kvádrem, který sdružuje tři mikropiloty, které jdou ve směru osy sloupu a os kotevních lan.

Pro návrh mikropilot byl využit software GEO5.

#### 6.1.1 Tlačená mikropilota (Sloup S1)

Vstupní data: Standardní - EN 1997 - DA1

Materiály a normy:

Betonové konstrukce:

EN 1992-1-1 (EC2)

Součinitele EN 1992-1-1: standardní  
 Ocelové konstrukce: EN 1993-1-1 (EC3)  
 Dílčí součinitel únosnosti ocelového průřezu:  $\gamma_{M0} = 1,00$

Mikropiloty  
 Výpočet únosnosti dřívku: geometrická metoda (Eulerova)  
 Výpočet únosnosti kořene: metoda Lizziho  
 Metodika posouzení: mezní stavy

Součinitele redukce parametrů zemin		
Trvalá návrhová situace		
Součinitel redukce úhlu vnitřního tření :	$\gamma_{M\phi} =$	1,25 [-]
Součinitel redukce soudržnosti :	$\gamma_{Mc} =$	1,40 [-]
Součinitel redukce kritické síly :	$\gamma_{Mf} =$	1,00 [-]
Součinitel spolehlivosti cementové směsi :	$\gamma_{sc} =$	1,50 [-]
Součinitel spolehlivosti oceli :	$\gamma_{ss} =$	1,50 [-]
Součinitel redukce únosnosti kořene :	$\gamma_r =$	1,50 [-]

Parametry zemin

Třída F5, konzistence tuhá		
Objemová tíha :	$\gamma =$	20,00 kN/m <sup>3</sup>
Úhel vnitřního tření :	$\phi_{ef} =$	21,00 °
Soudržnost zeminy :	$c_{ef} =$	12,00 kPa
Obj.tíha sat.zeminy :	$\gamma_{sat} =$	20,00 kN/m <sup>3</sup>

Třída F3, konzistence pevná, $S_r > 0,8$		
Objemová tíha :	$\gamma =$	18,00 kN/m <sup>3</sup>
Úhel vnitřního tření :	$\phi_{ef} =$	26,50 °
Soudržnost zeminy :	$c_{ef} =$	16,00 kPa
Obj.tíha sat.zeminy :	$\gamma_{sat} =$	18,00 kN/m <sup>3</sup>

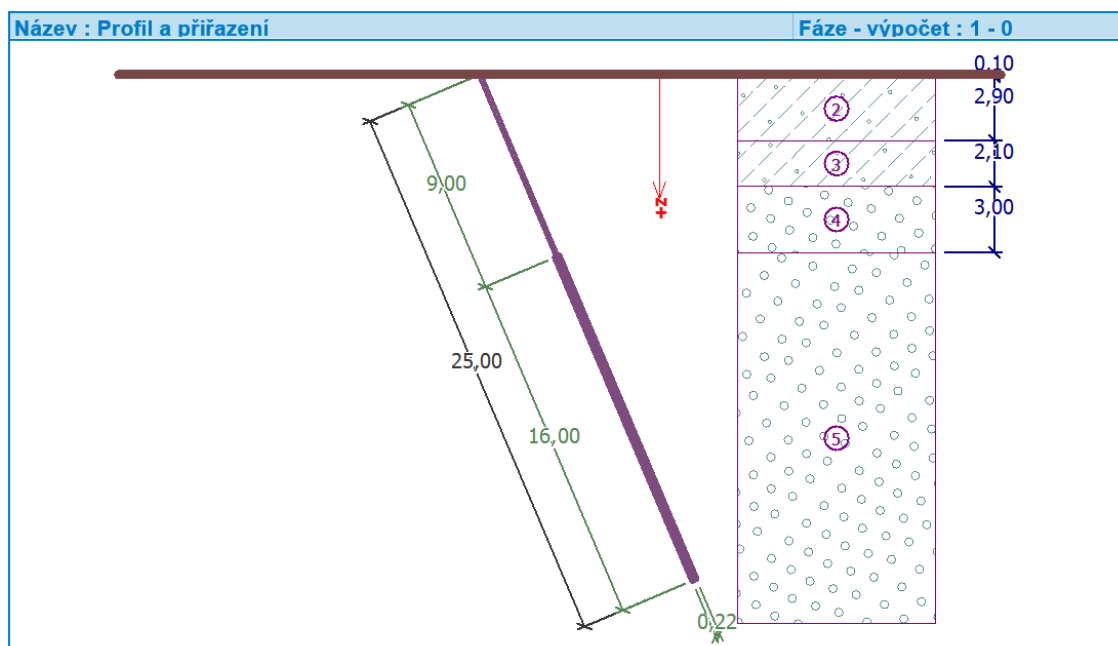
Třída F3, konzistence měkká		
Objemová tíha :	$\gamma =$	18,00 kN/m <sup>3</sup>
Úhel vnitřního tření :	$\phi_{ef} =$	26,50 °
Soudržnost zeminy :	$c_{ef} =$	12,00 kPa
Obj.tíha sat.zeminy :	$\gamma_{sat} =$	18,00 kN/m <sup>3</sup>

Třída G3, středně ulehlá		
Objemová tíha :	$\gamma =$	19,00 kN/m <sup>3</sup>
Úhel vnitřního tření :	$\phi_{ef} =$	32,50 °
Soudržnost zeminy :	$c_{ef} =$	0,00 kPa
Obj.tíha sat.zeminy :	$\gamma_{sat} =$	19,00 kN/m <sup>3</sup>

Geometrie

Průměr = 152,0 m  
m  
Tloušťka stěny = 25,0 m  
m

Volná délka mikropiloty  $l = 9,00$  m  
Délka kořene  $l_r = 16,00$  m  
Průměr kořene  $d_r = 0,22$  m  
Odklon mikropiloty od svislice  $\alpha = 23,00^\circ$   
Vysazení mikropiloty nad terén  $l_a = 0,00$  m



Obr. 79 Geometrie tlačené mikropiloty

Materiál konstrukce

Objemová tíha  $\gamma = 23,00$  kN/m<sup>3</sup>

Výpočet betonových konstrukcí proveden podle normy EN 1992-1-1 (EC2).

Beton : C 20/25

Válcová pevnost v tlaku

$f_{ck} = 20,00$  MPa

Modul pružnosti

$E_{cm} = 30000,00$  MPa

Ocel konstrukční: EN 10025 : Fe 360

Mez kluzu


$f_y = 235,00$  MPa

Modul pružnosti

$E = 210000,00$  MPa

Geologický profil a přiřazení zemin

Číslo	Vrstva [m]	Přiřazená zemina	Vzorek
1	0,10	Třída F5, konzistence tuhá	
2	2,90	Třída F3, konzistence pevná, $S_r > 0,8$	
3	2,10	Třída F3, konzistence měkká	
4	3,00	Třída G3, středně ulehlá	

Číslo	Vrstva [m]	Přiřazená zemina	Vzorek
5	-	Třída G3, středně ulehlá	

#### Zatížení

Název	Síla N [kN]	Moment M [kNm]
Zatížení č. 1	1 260,00	0,00

#### Posouzení průřezu

Posouzení vnitřní stability průřezu: geometrická (Eulerova) metoda

Výpočet vzpěrné délky průřezu - uložení (kloub-kloub).

Modul reakce podloží  $E_p = 10,00 \text{ MN/m}^3$

Spočtený počet půlvln  $n = 4,11$

Vzpěrná délka  $l_{cr} = 2,92 \text{ m}$

Kritická normálová síla  $N_{crd} = 5265,85 \text{ kN}$

Maximální normálová síla  $N_{max} = 1260,00 \text{ kN}$

#### Vnitřní stabilita průřezu mikropiloty VYHOVUJE

Posouzení únosnosti spřaženého průřezu:

Plocha ideálního průřezu  $A_i = 1,11E+04 \text{ mm}^2$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu  $J_i = 2,16E+07 \text{ mm}^4$

Štíhlost prutu  $\lambda = 66,222$

Součinitel vzpěrnosti  $\kappa = 0,872$

Napětí v oceli  $= 135,42 \text{ MPa}$

Výpočtová pevnost oceli  $= 156,67 \text{ MPa}$

#### Spřažený průřez mikropiloty VYHOVUJE

Posouzení kořene

Způsob výpočtu - metoda Lizziho.

Součinitel vlivu průměru kořene  $= 0,83$

#### Plášťové tření na kořeni

Číslo	Pořadnice [m]	Tření [kPa]
1	0,00	0,00
2	3,00	100,00
3	5,10	50,00
4	8,10	250,00
5	9,00	265,52
6	15,00	500,00
7	16,00	500,00



Posouzení tlačené mikropiloty

Únosnost pláště mikropiloty  $R_s = 2171,88 \text{ kN}$

Výpočtová únosnost kořene mikropiloty  $R_d = 1447,92 \text{ kN}$

Maximální normálová síla  $N_{\max} = 1260,00 \text{ kN}$

Únosnost tlačené mikropiloty VYHOVUJE

### 6.1.2 Tažená mikropilota (LK1)

Stejně je navržena i mikropilota pro LK2.

Vstupní data: Standardní - EN 1997 - DA1

Materiály a normy:

Betonové konstrukce: EN 1992-1-1 (EC2)

Součinitele EN 1992-1-1: standardní

Ocelové konstrukce: EN 1993-1-1 (EC3)

Dílní součinitel únosnosti ocelového průřezu:  $\gamma_{M0} = 1,00$

Mikropiloty

Výpočet únosnosti dřívku: geometrická metoda (Eulerova)

Výpočet únosnosti kořene: metoda Lizziho

Metodika posouzení: mezní stavy

Součinitele redukce parametrů zemin		
Trvalá návrhová situace		
Součinitel redukce úhlu vnitřního tření :	$\gamma_{M\phi} =$	1,25 [-]
Součinitel redukce soudržnosti :	$\gamma_{Mc} =$	1,40 [-]
Součinitel redukce kritické síly :	$\gamma_{Mf} =$	1,00 [-]
Součinitel spolehlivosti cementové směsi :	$\gamma_{sc} =$	1,50 [-]
Součinitel spolehlivosti oceli :	$\gamma_{ss} =$	1,50 [-]
Součinitel redukce únosnosti kořene :	$\gamma_r =$	1,50 [-]

Parametry zemin

Třída F5, konzistence tuhá		
Objemová tíha :	$\gamma =$	20,00 kN/m <sup>3</sup>
Úhel vnitřního tření :	$\phi_{ef} =$	21,00 °
Soudržnost zeminy :	$c_{ef} =$	12,00 kPa
Obj.tíha sat.zeminy :	$\gamma_{sat} =$	20,00 kN/m <sup>3</sup>

Třída F3, konzistence pevná, $S_r > 0,8$		
Objemová tíha :	$\gamma =$	18,00 kN/m <sup>3</sup>
Úhel vnitřního tření :	$\phi_{ef} =$	26,50 °
Soudržnost zeminy :	$c_{ef} =$	16,00 kPa
Obj.tíha sat.zeminy :	$\gamma_{sat} =$	18,00 kN/m <sup>3</sup>

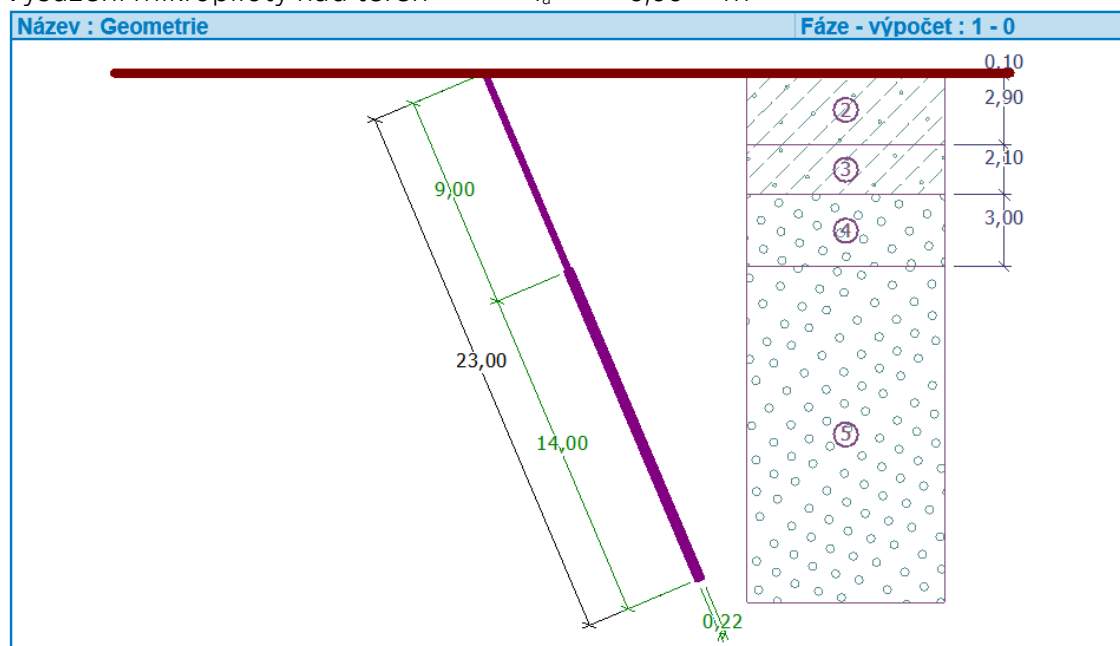
Třída F3, konzistence měkká	
Objemová tíha :	$\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
Úhel vnitřního tření :	$\varphi_{ef} = 26,50^\circ$
Soudržnost zeminy :	$c_{ef} = 12,00 \text{ kPa}$
Obj.tíha sat.zeminy :	$\gamma_{sat} = 18,00 \text{ kN/m}^3$

Třída G3, středně ulehlá	
Objemová tíha :	$\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
Úhel vnitřního tření :	$\varphi_{ef} = 32,50^\circ$
Soudržnost zeminy :	$c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Obj.tíha sat.zeminy :	$\gamma_{sat} = 19,00 \text{ kN/m}^3$

Geometrie

Průměr = 152,0 m  
m  
Tloušťka stěny = 16,0 m  
m

Volná délka mikropiloty  $l = 9,00 \text{ m}$   
Délka kořene  $l_r = 14,00 \text{ m}$   
Průměr kořene  $d_r = 0,22 \text{ m}$   
Odklon mikropiloty od svislice  $\alpha = 0^\circ$   
Vysazení mikropiloty nad terén  $l_a = 0,00 \text{ m}$



Obr. 80 Geometrie tažené mikropiloty

Materiál konstrukce

Objemová tíha  $\gamma = 23,00 \text{ kN/m}^3$

Výpočet betonových konstrukcí proveden podle normy EN 1992-1-1 (EC2).

Beton : C 20/25

Válcová pevnost v tlaku

$f_{ck} = 20,00 \text{ MPa}$






Modul pružnosti

$E_{cm} = 30000,00 \text{ MPa}$

Ocel konstrukční: EN 10025 : Fe 360

Mez kluzu  $f_y = 235,00 \text{ MPa}$   
 Modul pružnosti  $E = 210000,00 \text{ MPa}$

Geologický profil a přiřazení zemin

Číslo	Vrstva [m]	Přiřazená zemina	Vzorek
1	0,10	Třída F5, konzistence tuhá	
2	2,90	Třída F3, konzistence pevná, $S_r > 0,8$	
3	2,10	Třída F3, konzistence měkká	
4	3,00	Třída G3, středně ulehlá	
5	-	Třída G3, středně ulehlá	

Zatížení

Název	Síla N [kN]	Moment M [kNm]
Zatížení č. 1	-892,00	0,00

Posouzení průřezu  
 Mikropilota je tažená, vnitřní stabilita vyhovuje.

Posouzení únosnosti spřaženého průřezu: Tažená mikropilota – s pevností betonu v tahu se nepočítá.

Napětí v oceli  $= 131,65 \text{ MPa}$   
 Výpočtová pevnost oceli  $= 156,67 \text{ MPa}$

**Spřažený průřez mikropiloty VYHOVUJE**

Posouzení kořene  
 Způsob výpočtu – metoda Lizziho.  
 Součinitel vlivu průměru kořene  $= 0,83$   
Plášťové tření na kořeni

Číslo	Pořadnice [m]	Tření [kPa]
1	0,00	0,00
2	3,00	100,00
3	5,10	50,00
4	8,10	250,00
5	11,00	300,00
6	12,00	366,67
7	13,00	366,67
8	14,00	366,67

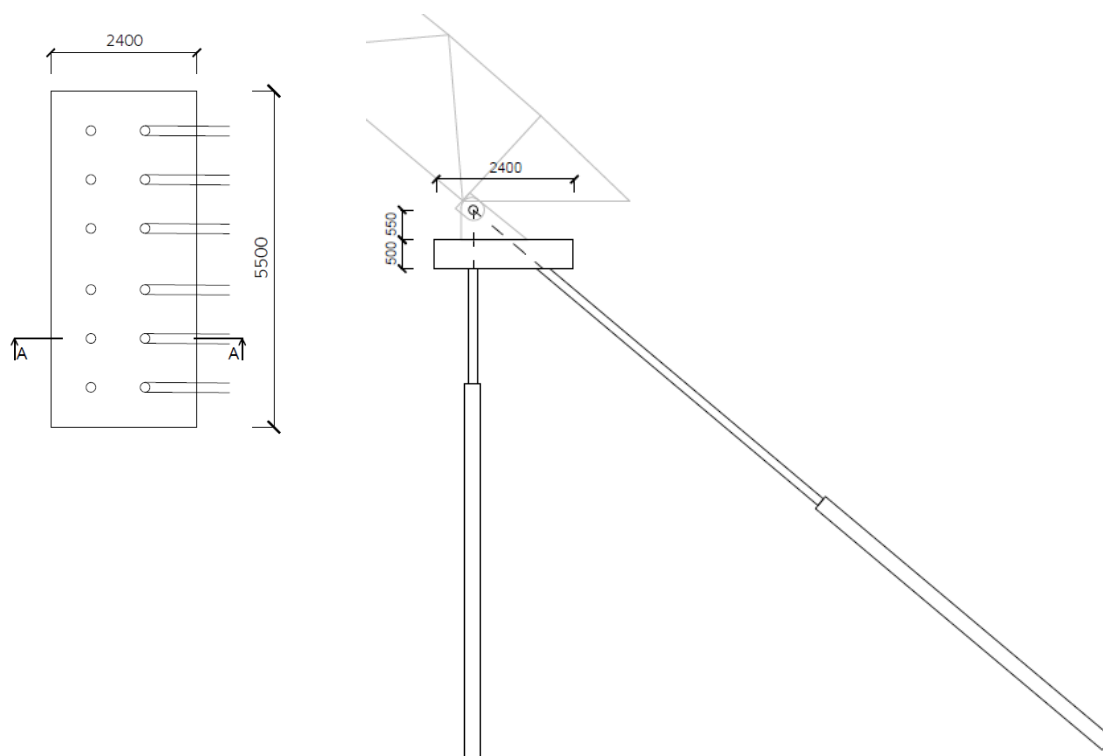
Posouzení tažené mikropiloty  
 Únosnost pláště mikropiloty  $R_s = 1503,93 \text{ kN}$   
 Výpočtová únosnost kořene mikropiloty  $R_d = 1002,62 \text{ kN}$   
 Maximální tahová síla  $N_{max} = 900,00 \text{ kN}$

**Únosnost tažené mikropiloty VYHOVUJE**

## 6.2 Základy oblouku

Základ je tvořený betonovou patkou, která sdružuje systém 12 mikropilot. Mikropiloty jsou navrženy tak, aby co nejefektivněji přenesly svislé zatížení z konstrukce oblouku (svislá mikropilota pod osou kotvení) a vodorovné zatížení (nakloněná mikropilota, která kopíruje geometrii oblouku).

Předpokládaná geometrie je uvedena na schématu, výpočet by byl proveden stejným způsobem jako u trojnožek.

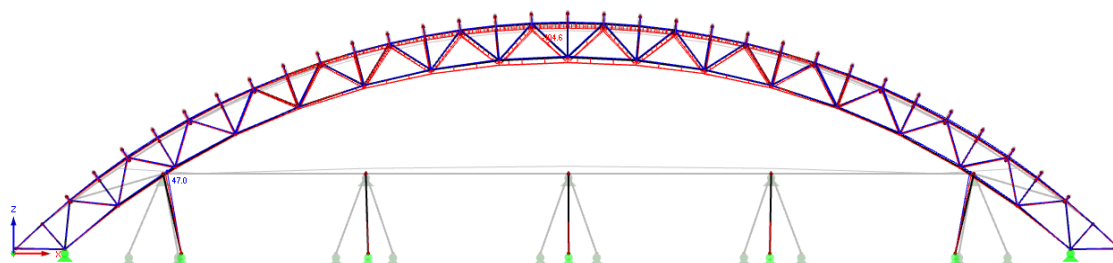


Obr. 81 Schéma geometrie základů pro oblouk

## 7 POSOUZENÍ KONSTRUKCE NA MSP

### 7.1 Posouzení vazníku

#### 7.1.1 Svislý průhyb



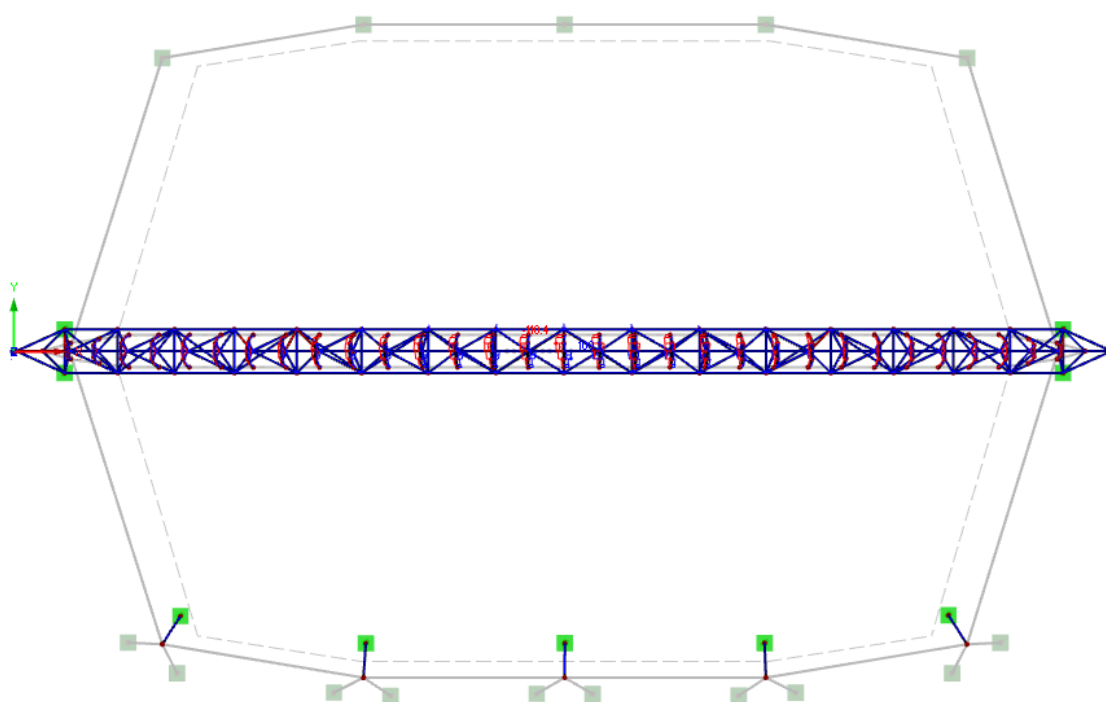
Obr. 1 Svislý průhyb ocelové konstrukce

$$\delta_{max} < \delta_{limit}$$

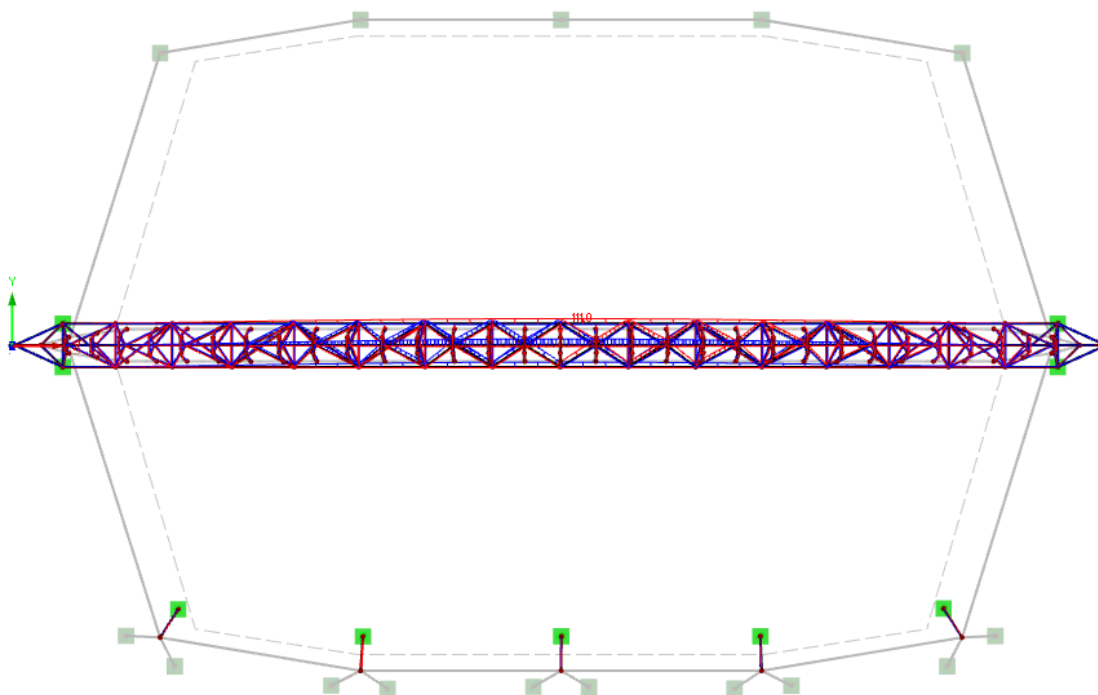
$$105 \text{ mm} < \frac{l}{500} = \frac{59\,900}{500} = 119,8 \text{ mm}$$

→ VYHOVUJE

#### 7.1.2 Vodorovný průhyb



Obr. 82 Vodorovný průhyb ocelové konstrukce ve směru x



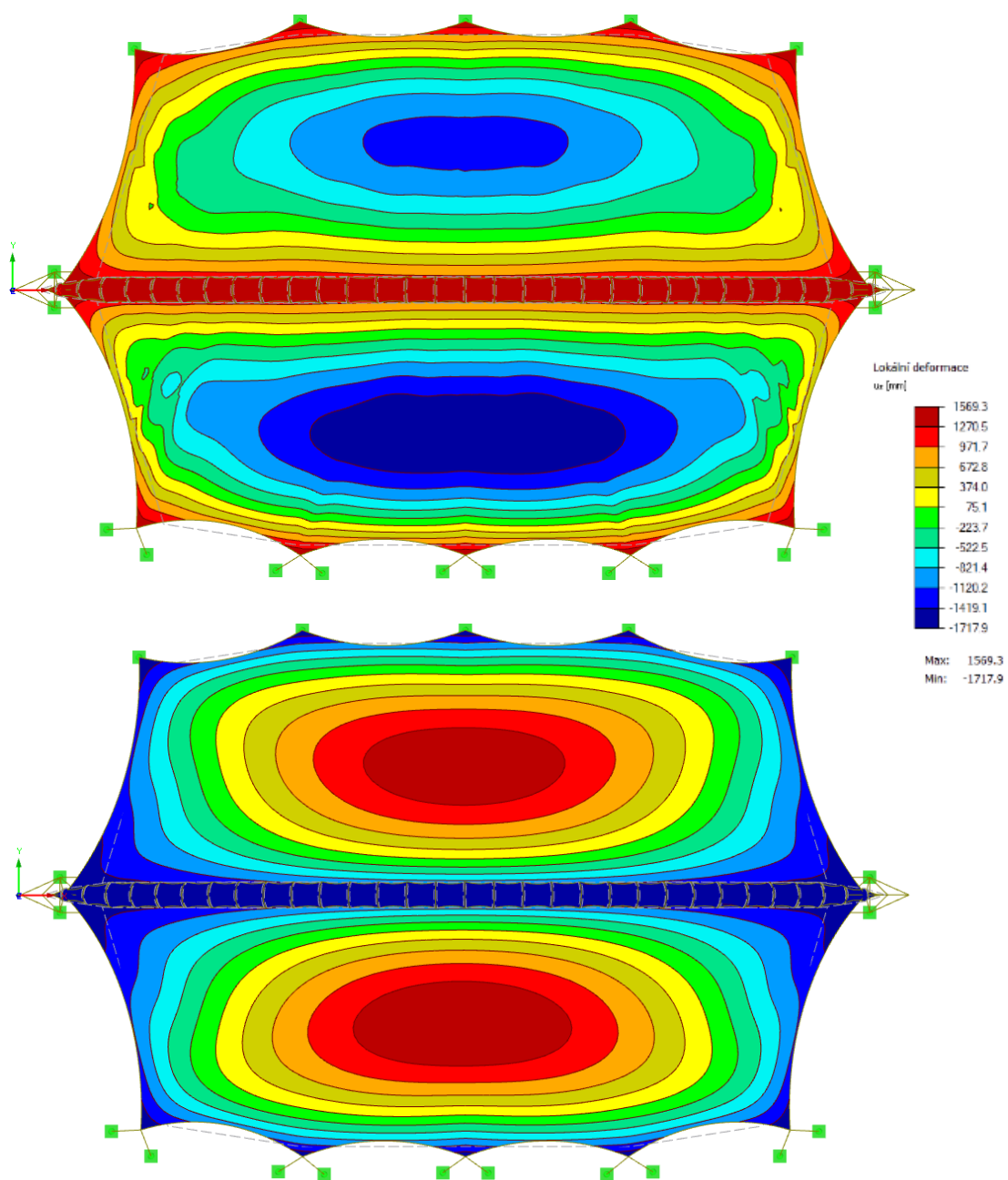
Obr. 83 Vodorovný průhyb ocelové konstrukce ve směru y

$$\delta_{max} < \delta_{limit}$$

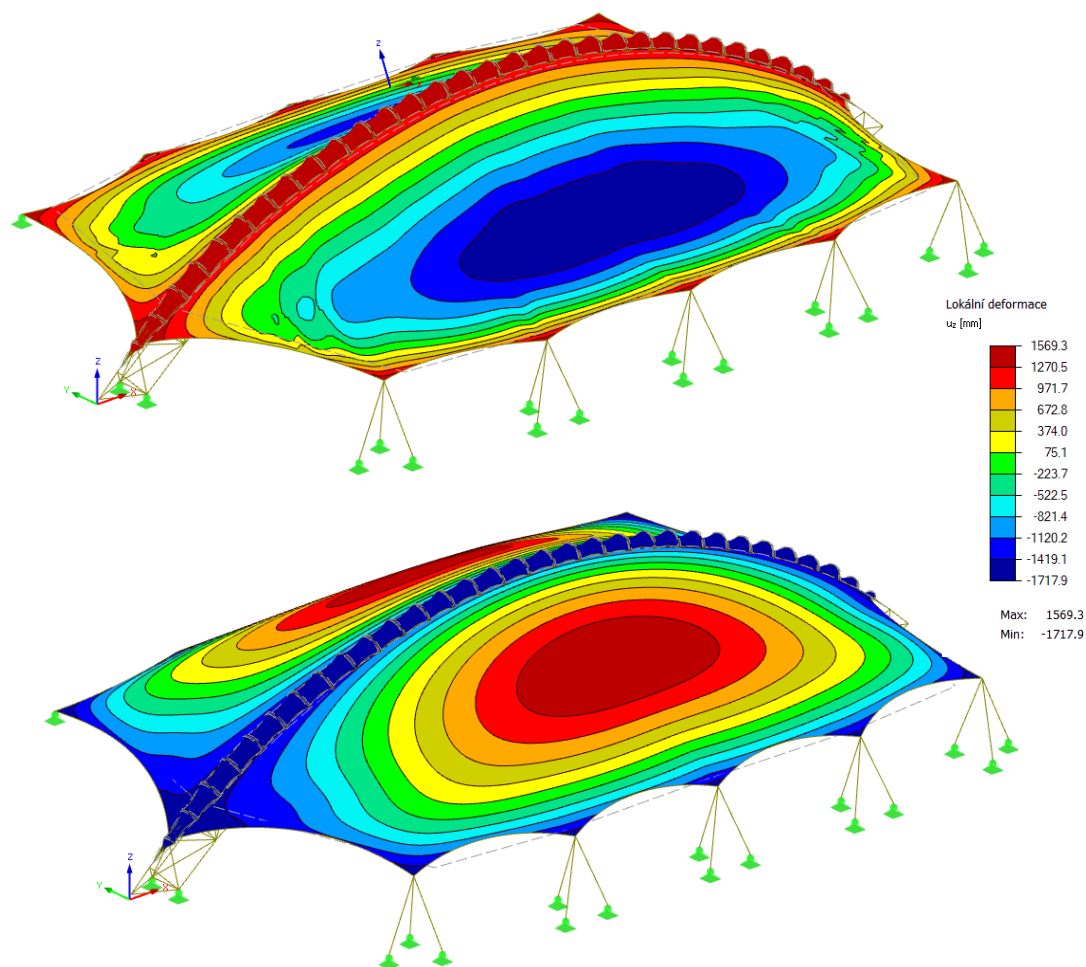
$$111 \text{ mm} < \frac{l}{500} = \frac{59\,900}{500} = 119,8 \text{ mm}$$

→ VYHOVUJE

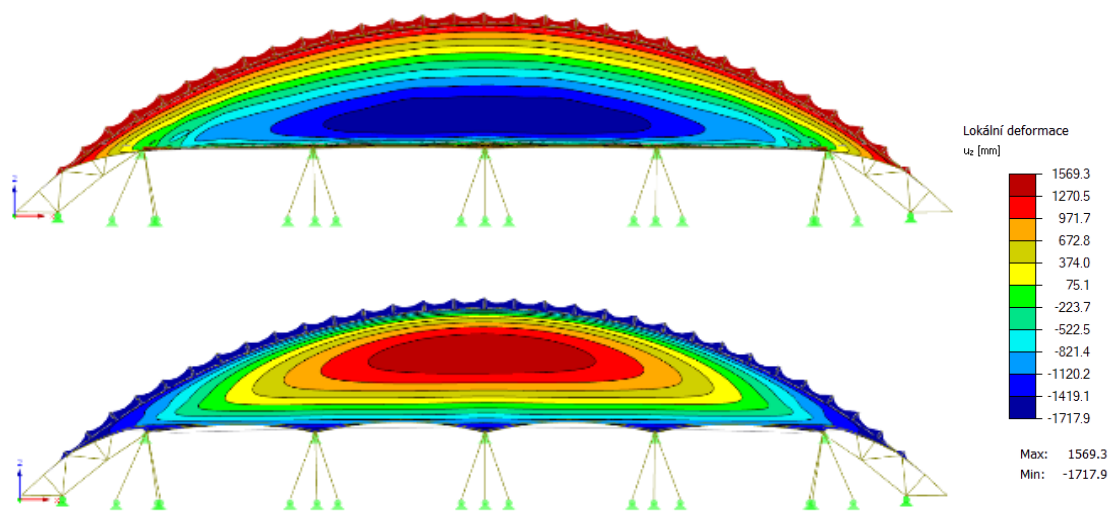
## 7.2 Posouzení membrány



Obr. 84 Nahoře: Průhyb membránové konstrukce ve směru  $z^-$ ;  
Dole: Průhyb membránové konstrukce ve směru  $z^+$   
Půdorys

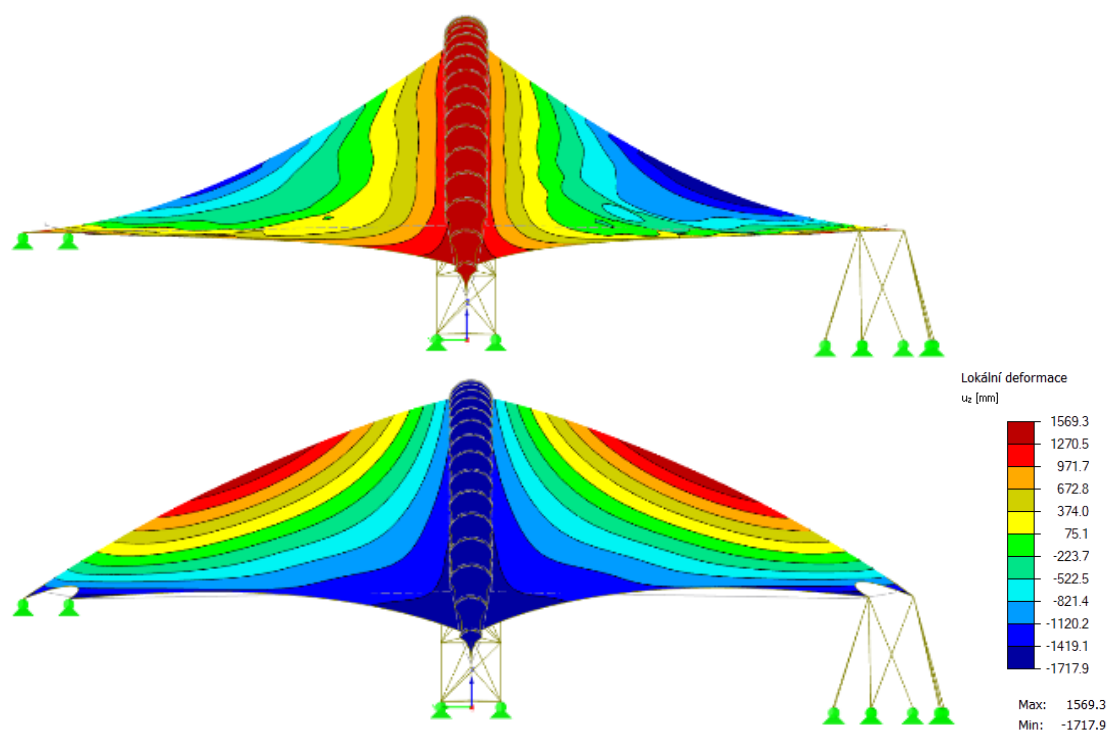


Obr. 85 Nahoře: Průhyb membránové konstrukce ve směru z-;  
Dole: Průhyb membránové konstrukce ve směru z+  
Perspektiva



Obr. 86 Nahoře: Průhyb membránové konstrukce ve směru z-;  
Dole: Průhyb membránové konstrukce ve směru z+  
Pohled čelní





Obr. 87 Nahoře: Průhyb membránové konstrukce ve směru z-;  
Dole: Průhyb membránové konstrukce ve směru z+  
Pohled boční

$$\delta_{max} = 1\,569\,mm$$

Průhyb je stanoven s ohledem na prolákliny, kde by se držela voda nebo sněh. Tyto průhyby nebrání provozuschopnosti membránové konstrukce.

## 8 ZÁVĚR

Ocelová konstrukce s membránou je posouzena dle platných evropských norem řady ČSN EN a v tomto ohledu meznímu stavu únosnosti a použitelnosti vyhovuje.

Konstrukce musí být za provozu řádně udržována. Celkový stav konstrukce bude zjišťován pravidelně se opakujícími prohlídkami prováděnými odborně způsobilou osobou.

Ve statickém výpočtu jsou uvedeny hlavní prvky nosné konstrukce stavby. Další případné potřebné síly a výstupy jednotlivých prvků jsou k dispozici u zpracovatele statického posudku. Předmětem tohoto výpočtu nejsou navazující konstrukce. Nedílnou součástí tohoto statického výpočtu jsou technická zpráva a výkresy.

Veškeré konstrukce musí splňovat platné české zákony, normy, hygienické předpisy a nařízení. Při všech pracích se musí dodržovat bezpečnostní a požární předpisy, technologické postupy, ustanovení příslušných norem.

Pokud jsou v této dokumentaci uvedeny konkrétní typy výrobků, jedná se pouze o příklady sloužící pro specifikaci vlastností – technických a uživatelských standardů. Zhotovitel dokumentace výslovně uvádí, že tyto výrobky lze nahradit jinými výrobky stejných technických vlastností – standardů a shodné, nebo vyšší kvality a provedení. Stejným způsobem jsou v dokumentaci jako příklad informativně uvedeni i možní v úvahu přicházejí výrobci, nebo dodavatelé.